



**INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA**

**CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL- GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**GILSON RAFAELLI**

**A DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE PAREDE EM MOLDES DE  
AREIA *COLD BOX* PARA O SISTEMA EM ÁRVORE E SUA  
RECUPERAÇÃO TÉRMICA**

**JARAGUÁ DO SUL, JULHO DE 2015**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA**  
**CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**GILSON RAFAELLI**

**A DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE PAREDE EM MOLDES DE  
AREIA *COLD BOX* PARA O SISTEMA EM ÁRVORE E SUA  
RECUPERAÇÃO TÉRMICA**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Rubens Hesse, Dr.

**JARAGUÁ DO SUL, JULHO DE 2015**

CDD 671  
R136d

Rafaelli, Gilson

A determinação da espessura de parede em moldes de areia *Cold Box* para o sistema em árvore e sua recuperação térmica [TCC] / Gilson Rafaelli; orientação de Rubens Hesse. – Jaraguá do Sul, 2015.

72 f.

Trabalho de Conclusão de Curso Superior  
(Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Areia de fundição. 2. Perda ao fogo.
3. Fusão em árvore. I. Hesse, Rubens II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC  
Biblioteca Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus  
Catalogado por: Khrisna V. da Silva CRB 14/1229

**A DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE PAREDES EM MOLDES DE  
AREIA *COLD BOX* PARA O SISTEMA EM ÁRVORE E SUA  
RECUPERAÇÃO TÉRMICA.**

**GILSON RAFAELLI**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Tecnólogo em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 10 de julho de 2015.

Banca Examinadora:

---

Rubens Hesse, Dr.

---

Miriam Hennig, Me.

---

Ivan Hubert, Me.

---

Simone Czarnobai, Me.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde.

Aos meus pais, pelo incentivo.

À minha esposa e filho, pela motivação.

Aos meus amigos do IFSC, pelos momentos de estudo, companheirismo.

Ao professor orientador Rubens Hesse, Dr., pelo aprendizado.

À professora Miriam Hennig, Me., pela dedicação e orientações na realização deste trabalho.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação.

Ao IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

Muito obrigado!

## RESUMO

Na indústria de fundição, os custos financeiros e ambientais com o descarte de areias de moldagem de fundição em aterros industriais têm aumentado significativamente, na medida em que grandes quantidades de areia são consumidas para a produção de moldes e machos. Este trabalho investiga uma metodologia para determinar qual a menor espessura de parede dos moldes em areia *Cold Box*, tendo como objetivo principal a redução no consumo de areia utilizada no processo produtivo das fundições. Por isso, foi projetado e construído um modelo de fundição contendo um único tipo de produto, a fim de realizar experimentos práticos dentro de uma linha de moldagem, onde foram coletados e analisados os dados para determinar a quantidade de areia utilizada para enchimento do molde, a influência na recuperação térmica da areia durante o processo de vazamento do metal líquido, juntamente com o limite de resistência mecânica do molde. Os dados obtidos nos experimentos mostraram que a relação areia metal teve redução significativa. Também foi possível comprovar que os custos para descarte da areia são maiores que os custos para aquisição. O estudo mostrou também que o processo de fusão em árvore é muito produtivo e vantajoso para a indústria de fundição. Além disso, foi possível comprovar que é possível obter dimensões menores de espessura de parede dos moldes. O ensaio de perda ao fogo comprovou a qualidade e o nível de recuperação térmica da areia utilizada no processo. Com as informações obtidas, destaca-se a importância do trabalho quanto à redução do consumo e do descarte de areia, influenciando diretamente os custos industriais e o meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Areia de fundição. Perda ao fogo. Fusão em árvore.

## ***ABSTRACT***

In the foundry industry, financial and environmental costs by disposal of foundry molding sands in landfills have increased significantly, so that large quantities of sand are consumed for the production of molds and cores. This final coursework investigates a methodology to determine the thinnest wall of sand molds in Cold Box, aiming at reducing sand consumption used in the production process of foundries. Therefore, a casting model containing one type of product was designed and built in order to carry out practical experiments in a molding line. Data were collected and analyzed in order to determine the amount of sand used to fill the mold, the influence on the thermal reclamation of sand during the pouring of liquid metal, as well as the limit of the mechanical strength of the mold. The data obtained in the experiments showed that the metal sand ratio was significantly reduced. It was also proved that the costs of sand disposal are higher than the costs of its acquisition. The study also showed that the merger tree is very productive and beneficial to the foundry industry. It was also possible to prove that the mold wall thickness can get smaller. The loss to fire test proved the quality and level of heat recovery of the sand being used. It is therefore possible to highlight the importance of this final coursework as it shows the reduction in sand consumption and disposal, directly influencing the manufacturing costs and the environmental impact.

Keywords: Sand casting. Loss to fire. Merger Tree.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Produção mundial de fundidos, com base de 2012 .....	15
Figura 2 - Etapas de produção de peças fundidas .....	24
Figura 3 - Modelo de fundição para processo em <i>Cold Box</i> (vista em corte) .....	25
Figura 4 - Representação do respiro para escape de ar inserido no modelo .....	26
Figura 5 -. Máquina sopradora de moldes e machos para processo <i>Cold Box</i> .....	28
Figura 6 - Representação das etapas de moldagem em árvore.....	29
Figura 7 - Forno de fusão .....	31
Figura 8 - Processo de vazamento do metal líquido em moldes de areia .....	33
Figura 9 - Gráfico de expansão linear de diversos materiais x temperatura .....	35
Figura 10 - Cálculo do módulo de finura .....	38
Figura 11 - Representação da interação entre aglomerante e grão de areia .....	42
Figura 12 - Representação do produto utilizado no experimento .....	45
Figura 13 - Vista do projeto do modelo em 3D .....	46
Figura 14 - Vista do projeto do modelo em corte.....	47
Figura 15 - Usinagem das bases superior e inferior do modelo .....	47
Figura 16 - Usinagem dos pinos do sistema de extração do modelo .....	48
Figura 17- Montagem do sistema de extração .....	48
Figura 18 - Máquina sopradora .....	49
Figura 19 - Misturador contínuo de areia .....	50
Figura 20 - Moldes de areia empilhados sistema árvore .....	50
Figura 21 - Sequência do processo de fusão.....	51
Figura 22 - Resfriamento e recuperação térmica após a fusão.....	52
Figura 23 - Amostra de areia.....	53
Figura 24- Cadinhos de cerâmica e estufa de secagem .....	54
Figura 25 - Balança analítica.....	54



Figura 26 - Forno tipo mufla .....	55
Figura 27 - <i>Layout</i> da linha de produção .....	58
Figura 28 - Gráfico de pressão metalostática.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensão da ranhura do respiro recomendada .....	27
Tabela 2 - Módulo de finura da areia recomendado para cada tipo de metal .....	37
Tabela 3 - Altura de vazamento para os moldes analisados .....	52
Tabela 4 - Variáveis do procedimento experimental .....	56
Tabela 5 - Dados de operação da sopradora .....	57
Tabela 6 - Relação areia - metal .....	59
Tabela 7 - Comparativo entre espessura da amostra e de projetos anteriores .....	60
Tabela 8 - Custo para descarte e aquisição de areia nova .....	60
Tabela 9 - Comparativo de produção por área ocupada .....	61
Tabela 10 - Perda ao fogo .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD - *Computer Aided Design*

DIN - *Deutsches Institut für Normung*

N - Newton

°C - Graus Celsius

AFS *American Foundry Society*

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABIFA Associação Brasileira de Fundição

TEA Trietilamina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	PROBLEMA	18
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	<b>Objetivo Geral</b>	<b>18</b>
1.3.2	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
2.1	HISTÓRICO DE FUNDIÇÃO	20
2.2	FUNDIÇÃO	21
2.3	PROCESSOS DE FUNDIÇÃO	21
2.3.1	<b>Organização da Fundição</b>	<b>23</b>
2.3.1.1	<i>Modelos</i>	24
2.3.1.2	<i>Moldagem</i>	27
2.3.1.2.1	<i>Moldagem em árvore</i>	28
2.3.1.3	<i>Fusão</i>	31
2.3.1.4	<i>Vazamento</i>	32
2.3.1.5	<i>Desmoldagem</i>	33
2.3.1.6	<i>Rebarbação</i>	33
2.3.2	<b>Areias de fundição e suas particularidades</b>	<b>34</b>
2.3.3	<b>Critérios de classificação das Areias de fundição</b>	<b>35</b>
2.3.4	<b>Granulometria da areia</b>	<b>37</b>
2.3.5	<b>Perda ao Fogo</b>	<b>39</b>
2.3.6	<b>Teor de Umidade</b>	<b>40</b>
2.3.7	<b>Aglomerantes</b>	<b>40</b>
2.3.8	<b>Resinas</b>	<b>42</b>

<b>2.3.9</b>	<b>Resíduos Sólidos.....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
3.1	PRODUTO DE ESTUDO .....	45
3.2	PROJETO DO MODELO .....	46
3.3	FABRICAÇÃO DO MODELO .....	47
3.4	MOLDAGEM DOS MOLDES .....	49
3.5	FUSÃO DOS MOLDES.....	51
3.6	RESFRIAMENTO DOS MOLDES.....	51
3.7	COLETA DAS AMOSTRAS .....	53
3.8	LABORATÓRIO DE ANÁLISE.....	53
3.9	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	55
3.9.1	Usinagem do modelo para cada espessura previamente definida .	55
3.9.2	Processo de moldagem e fusão do componente e coleta de areia para ensaios .....	56
3.9.3	Realização dos ensaios de perda ao fogo.....	58
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO A – CERTIFICADO DE ANÁLISES .....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO B – LAUDO AMBIENTAL.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

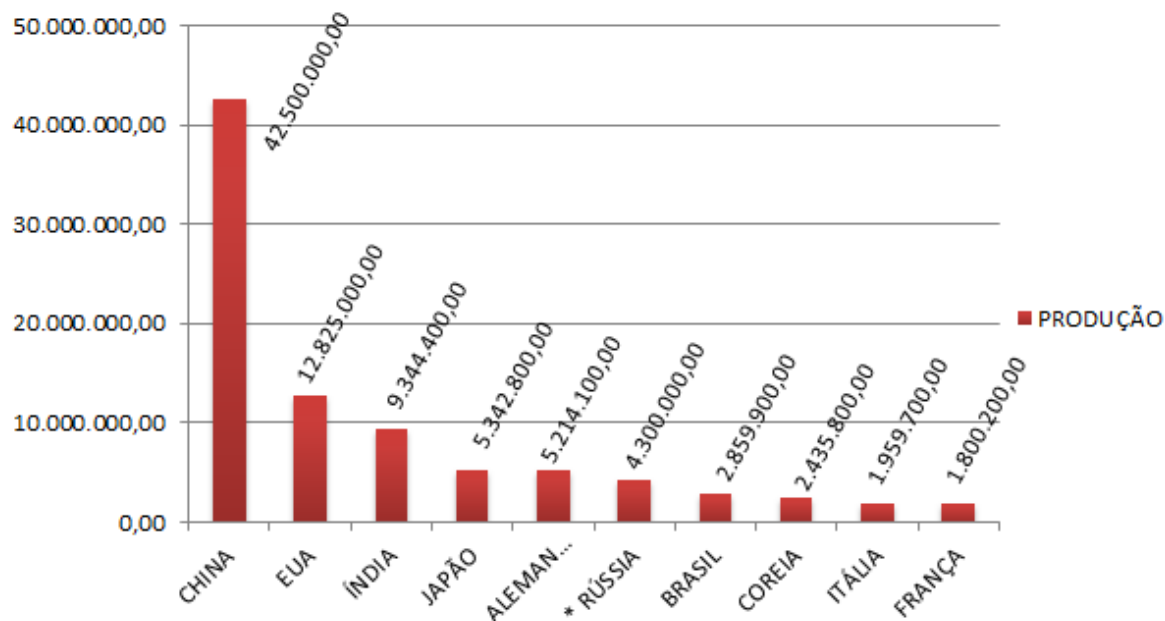
A indústria de fundição é caracterizada pela transformação de minérios de ferros em ligas metálicas como o aço, ferro fundido, e também ligas não ferrosas que, por sua vez, ainda em estado líquido, são despejadas dentro de moldes. Esses, na maioria das vezes, são feitos em areia e resina para a formação de produtos já acabados ou que ainda passarão por processos posteriores de transformação.

No entanto, existem diferentes processos para se produzir peças fundidas, sendo que a fundição por gravidade é a mais comum. Basicamente, o início do processo parte da fabricação do ferramental, que são o modelo e a caixa de macho. Os modelos são utilizados para a fabricação dos moldes do tipo não permanentes geralmente de areia cujo formato é a cavidade, formando uma cópia do externo de uma peça fundida. A caixa de macho é empregada na fabricação dos machos, também normalmente feitos com areia e utilizados quando a geometria do produto contém detalhes internos como furos, ou rebaixos.

Esse segmento industrial emprega cerca de 66.000 trabalhadores no Brasil e faturou 11,6 bilhões de dólares em 2013, em cerca de 1.300 empresas. Internamente, as fundições estão presentes em todas as regiões, apresentando maior concentração nas regiões sul e sudeste, sendo que a maioria é de pequeno e médio porte (ABIFA, 2014).

O país, no cenário mundial está classificado como o sétimo maior produtor mundial de fundidos, *ranking* liderado pela China com uma produção de 42,5 milhões de toneladas equivalente à produção conjunta do segundo ao oitavo colocado, conforme Figura 1. A produção brasileira vem tendo um crescimento contínuo desde 2003, havendo uma queda em 2009 em decorrência da crise internacional (ABIFA, 2014).

FIGURA 1- Produção mundial de fundidos, ano base de 2012 (em toneladas)



(\*) dados de 2011

Fonte: Modern Casting, dezembro de 2013.

Sabe-se que as indústrias de fundição têm participação significativa no mercado mundial, com suas inúmeras atividades de produção. Contudo, a geração de resíduos sólidos industriais, em especial as areias de fundição, evidencia-se como objeto de grande preocupação, pois se apresentam isoladamente como o resíduo de maior volume produzido pelas fundições no Brasil. Em muitas das fundições, sobretudo aquelas que dispõem de recursos técnicos limitados, é habitual rejeitar diariamente quantidades expressivas de resíduos sólidos, denominadas torrões de areias do processo de moldagem. Esses resíduos sólidos resultam em grande parte dos moldes que durante a moldagem foram rejeitados e também da quebra dos moldes no final do processo para a remoção dos produtos já formados.

Nesse sentido, é importante enfatizar que para a NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as areias de fundição são consideradas resíduos perigosos (classe I) ou não perigosos (classe II) dependendo do processo de moldagem. A maior parte desses resíduos é disposta em aterros industriais. Porém, os custos associados à disposição final em aterros industriais, atualmente exigidos pelos órgãos ambientais, de acordo com Mariotto e Bonin (1996), faz com que as empresas busquem alternativas para minimizar o descarte desses resíduos.

Uma busca constante nas fundições é também encontrar um entre vários processos de fabricação que possibilite obter o melhor equilíbrio em todas as suas etapas produtivas, visando sempre o aumento da produtividade e redução dos custos industriais. Esse é o caso do desenvolvimento de novos métodos de moldagem, dentre os quais vêm se destacando o processo caixa fria, conhecida comercialmente como *Cold Box*. Esse processo basicamente é utilizado para a fabricação de machos. Porém, nos últimos anos, percebe-se que muitas fundições também o utilizam-no para a fabricação de moldes em areia. Esse processo vem conquistando cada vez mais espaço no setor metalúrgico por suas características, tais como: produtividade, baixo consumo energético, boa precisão dimensional e qualidade superficial.

O processo de moldagem em *Cold Box*, o qual será analisado, consiste basicamente em soprar a areia através de ar comprimido em altas pressões para dentro do modelo, realizando assim a compactação da mesma. Os moldes fabricados nesse processo, resumidamente, são constituídos de areia sílica aglomerada com ligantes químicos; também conhecida como areia aglomerada quimicamente, mediante resinas fenólicas e uretânicas e um catalisador com uma concentração percentual do peso da areia.

O processo em *Cold Box* também possibilitou o surgimento de um diferencial produtivo na indústria metalúrgica que é a fusão das peças em árvore, ou seja, o processo de fusão que antes era feito horizontalmente, molde após molde, começou a ser feito verticalmente, com os moldes empilhados, e ligados por um único canal de descida. Essa concepção possibilitou arranjos de *layout* muito mais enxutos com áreas menores para produção.

No contexto de uma fundição, a quantidade existente de modelos que são ferramentais é muito grande e complexa. A alteração de um modelo que está em operação, por exemplo, além de cara poderia ter impactos indesejados. Nesse sentido, a proposta de desenvolvimento desse trabalho é selecionar junto a uma fundição na região norte-catarinense uma peça que fará parte do portfólio de seus produtos e, a partir dessa seleção, será possível dar início ao projeto e fabricação de um modelo totalmente novo, com o objetivo de minimizar o descarte de resíduos e consumo de areias utilizados na fabricação dos moldes. Assim, seria possível



orientar os profissionais que atuam em projetos de ferramentais com parâmetros de espessura de parede mínima possível de serem obtidos nos moldes de areia.

Para o desenvolvimento do projeto do modelo será importante utilizar um software *CAD*, que auxiliará na obtenção de informações preliminares, tais como massa do molde e espessura da parede, possibilitando assim realizar todas as alterações possíveis nesse modelo a fim de obterem-se vários moldes com diferentes condições. Durante o processo de moldagem, os dados a serem obtidos serão o tempo de moldagem, a quantidade de resina empregada, a pressão de sopro, parâmetros esses obtidos da máquina sopradora. No vazamento do metal líquido haverá a verificação de resistência do molde quanto à pressão metalostática. Já durante o resfriamento, haverá a análise visual da recuperação térmica da areia, além da relação metal areia empregada.

Como na maioria das pequenas e médias fundições os recursos disponíveis para aquisição de software para análise nem sempre são possíveis, os aspectos que motivaram a fazer essas análises práticas, além da coleta de informações para a elaboração do trabalho, foram a obtenção de dados que pudessem servir de parâmetros aos projetistas de ferramentais no ato de concepção do modelo.

O desenvolvimento do trabalho dá-se através de uma pesquisa experimental, a partir da qual será analisado o que acontece durante os testes práticos, registrando-se e comparando-se os dados obtidos. Também uma revisão bibliográfica será realizada tratando dos temas como fundição, etapas de produção e espessura de parede dos moldes de areia em *Cold Box*.

Alguns dos trabalhos de autores pesquisados, que têm o setor de fundição como alvo de estudos, são na maioria voltados para a minimização do descarte de areia e seu reaproveitamento para outras aplicações, tais como, pavimentação e confecção de blocos de concreto. Eles também mencionam os problemas ambientais que o resíduo areia causa ao meio ambiente, tema esse de relevância na pesquisa experimental.

## 1.1 PROBLEMA

Considerando a redução dos custos com o consumo e o descarte de areia no processo de moldagem da indústria de fundição, surge a pergunta: quais parâmetros utilizar na concepção de projetos dos modelos específicos para o processo em *Cold Box*, a fim de obter a espessura de parede mínima possível nos seus moldes de fundição, levando em consideração que o processo analisado utiliza o sistema de fusão de peças em árvores?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, as organizações competem por índices cada vez mais elevados de produtividade e qualidade, buscando constantemente reduzir seus custos produtivos, atrelados a uma crescente conscientização dos riscos ambientais que os resíduos por elas produzidos trazem ao meio ambiente.

Segundo Soares (2000) há uma total dependência entre a qualidade e o custo final da peça fundida e a qualidade e a precisão com que o modelo é fabricado.

Desse modo, os modelos devem possuir características que permitam realizar o processo de moldagem de forma correta, mantendo esses requisitos. Os parâmetros, informações disponíveis no ato da concepção do projeto, ou seja, aplicados no momento correto, ajudam a evitar que problemas ocorram e que as ferramentas possam apresentar desempenho insatisfatório, além de comprometer o objetivo que é a redução do consumo e do descarte de areia.

Para tal, justifica-se o esforço em definir parâmetros a fim de orientar projetistas a conceber produtos com menor custo possível e com o mínimo de produção de resíduos.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar através de experimentos práticos qual a menor espessura de parede admissível em moldes para fundição com areia aglomerada quimicamente, os quais são utilizados no sistema de fusão de peças em árvore, mensurando-se o

consumo de areia utilizada e o nível de recuperação térmica.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Projetar um modelo de fundição utilizando plataforma *CAD*.
- Especificar a relação areia metal ou quantos quilogramas de areia por quilogramas de metal.
- Usinar o modelo com diferentes espessuras de parede, avaliando os resultados e seu comportamento durante a moldagem e no vazamento do metal líquido.
- Analisar a quantidade de areia que é recuperada termicamente.
- Avaliar qual a menor espessura de parede admissível.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para alcançar os objetivos deste trabalho, torna-se necessária a compreensão do conceito molde de areia, que por sua vez indica a necessidade de conhecer os processos envolvidos na obtenção de peças fundidas. No decorrer da revisão de literatura, será abordado um breve histórico sobre fundição, descrevendo seu significado, as etapas dos processos envolvidos e a maneira como as fundições organizam sua linha de produção. Como parte principal do trabalho, serão mencionados o desenvolvimento do modelo, a obtenção do molde de areia, as particularidades da areia utilizada, bem como os resíduos gerados no processo.

### 2.1 HISTÓRICO DE FUNDIÇÃO

Embora não haja um consenso, acredita-se que o processo para obter peças fundidas seja conhecido desde 5000 antes de Cristo (a.C.) quando já se produziam objetos em cobre e bronze fundido. O cobre com suas características de baixo ponto de fusão talvez tenha contribuído nessa etapa inicial (ROSSITTI, 1993).

Conforme Loper e Carl (2003), o primeiro fundido de ferro conhecido é uma peça em formato de tripé com 275 quilos, produzida na China. Ela é considerada relativamente recente, pois data de 600 a.C., embora haja outras indicações em que o processo de fundição de ferro já era conhecido pelos chineses cerca de 1000 anos a.C., onde eles já produziam componentes de ferro fundido utilizando-se de fornos de carvão soprados por foles, os quais conseguiam atingir temperaturas mais elevadas (RIBEIRO, 2008). No entanto, Siegel (1979) descreve que a peça mais antiga e conhecida provém da Mesopotâmia, datando de 3200 a.C., e foi produzida em cobre.

Os primeiros fundidos em ferro desenvolvidos tinham baixíssima resistência à fratura, sendo que apenas em 1638 Galileu Galilei realizou os primeiros estudos científicos sobre a resistência dos metais quanto à ruptura (RIBEIRO, 2008).

Embora o processo produtivo por muitos anos não tenha tido uma significativa evolução, por volta do século XVII houve uma inovação no método de fabricação, quando foi adicionado carbono ao ferro. Assim o aço foi obtido, técnica essa atribuída ao inglês Benjamin Huntsman (RIBEIRO, 2008).

Siegel (1979) menciona que o desenvolvimento da fundição no Brasil deu-se a partir do ano de 1554, quando foi de conhecimento da Coroa Portuguesa que na região de São Paulo haviam sido descobertos minérios de ferro e prata.

Porém, alguns séculos depois, com o surgimento de grandes indústrias no país, principalmente a automotiva, criou-se uma demanda suficiente, alavancando toda a indústria de fundição não só no estado de São Paulo, mas também no país (OLIVEIRA, 1998).

## 2.2 FUNDIÇÃO

A fundição pode ser descrita como um processo de fabricação para a conformação de um metal no estado líquido, o qual é aquecido até que se funda, formando assim um líquido homogêneo. Em seguida, é feito o vazamento do metal líquido para um molde contendo uma cavidade com a geometria desejada. Então, o metal líquido solidifica-se no interior do molde, assumindo a forma desejada (SIEGEL, 1979; CHIAVERINI, 1986; SOARES, 2000).

Também Campos Filho (1978) cita que o princípio básico de todos os processos de fundição consiste em alimentar um metal líquido na cavidade de um molde, conforme o formato da peça desejada, seguindo-se, posteriormente, um resfriamento, resultando em um objeto sólido proveniente da solidificação. Torre (2004) também descreve que a obtenção de peças fundidas consiste em preencher, por meio de um metal líquido, um molde que reproduz exatamente o formato das peças, essas em sua maioria formadas por material refratário (areia) e moldes metálicos.

No entanto, uma definição mais técnica e atual para fundição consiste na preparação, fusão e refino de insumos metálicos, seu vazamento em moldes por gravidade, pressão, centrifugação ou vácuo, e no acabamento das peças brutas assim obtidas (MONTICELLI, 1994).

## 2.3 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Praticamente todos os processos industriais em funcionamento em uma fundição apresentam algum tipo de problema referente a gargalos produtivos ou dificuldades operacionais. De acordo com a revista FS (2014), em uma pesquisa

realizada junto a empresas do setor, 38% têm dificuldades na etapa de acabamento, 20,4% têm problemas na moldagem e em terceiro, com 12,6%, aparecem os problemas relacionados ao meio ambiente e ao controle de poluição.

Dentre os processos de fabricação para dar forma aos metais, a fundição em areia destaca-se por sua versatilidade, permitindo produzir peças com formato, peso e tamanho dos mais distintos possíveis (KONDIC, 1973). De acordo com Kiminami, Castro e Oliveira (2013), a fundição em areia é o processo mais utilizado na fundição de metais sendo, portanto, responsável pela maior parte dos fundidos produzidos pelas indústrias do mundo todo.

Ainda segundo Kondic (1973), a fundição não encontra paralelo com outros processos de conformação porque, em muitos casos, é o método mais simples e econômico e, em outros, o único método tecnicamente viável para se obter uma determinada forma sólida.

Para Siegel (1979), a maioria dos processos para dar forma aos metais utilizam como produto base itens semiacabados, tais como barras, perfis, tubos, arames, e quase sempre é preciso passar por mais de um método de conformação. A fundição, no entanto, tem uma vantagem competitiva porque a peça vazada é obtida a partir de matérias primas tais como sucata, minério de ferro e, algumas vezes, gusa.

Kiminami, Castro e Oliveira (2013) também compartilham dessa mesma ideia quando afirmam que o fato da fundição utilizar sucata metálica em grandes quantidades torna-se um aspecto muito positivo, ao reduzir, o impacto do uso de recursos naturais. Porém, também descrevem que existem desvantagens, tais como precisão dimensional limitada e ambiente de trabalho insalubre, ao utilizar-se metal fundido.

Conforme Silva (2009), na maioria dos casos, a fundição é o processo inicial, porque permite obter peças com formas praticamente definitivas. Ela possibilita a fabricação dos chamados lingotes, os quais podem ser posteriormente submetidos a outros processos de fabricação mecânica. Em muitos casos, as peças são usinadas antes de estarem em condições de utilização. O processo de fundição é aplicado a vários metais, como aços, ferros fundidos, alumínio, cobre, zinco, magnésio e suas respectivas ligas.

### 2.3.1 Organização da Fundição

Adegas (2007) comenta que as fundições se classificam também pelo método de moldagem e pelo sistema de vazamento de metal que utilizam. Também Soares (2000, p.2) enfatiza que dentre os diversos processos existentes, a moldagem é um dos setores de maior responsabilidade técnica dentro de uma fundição.

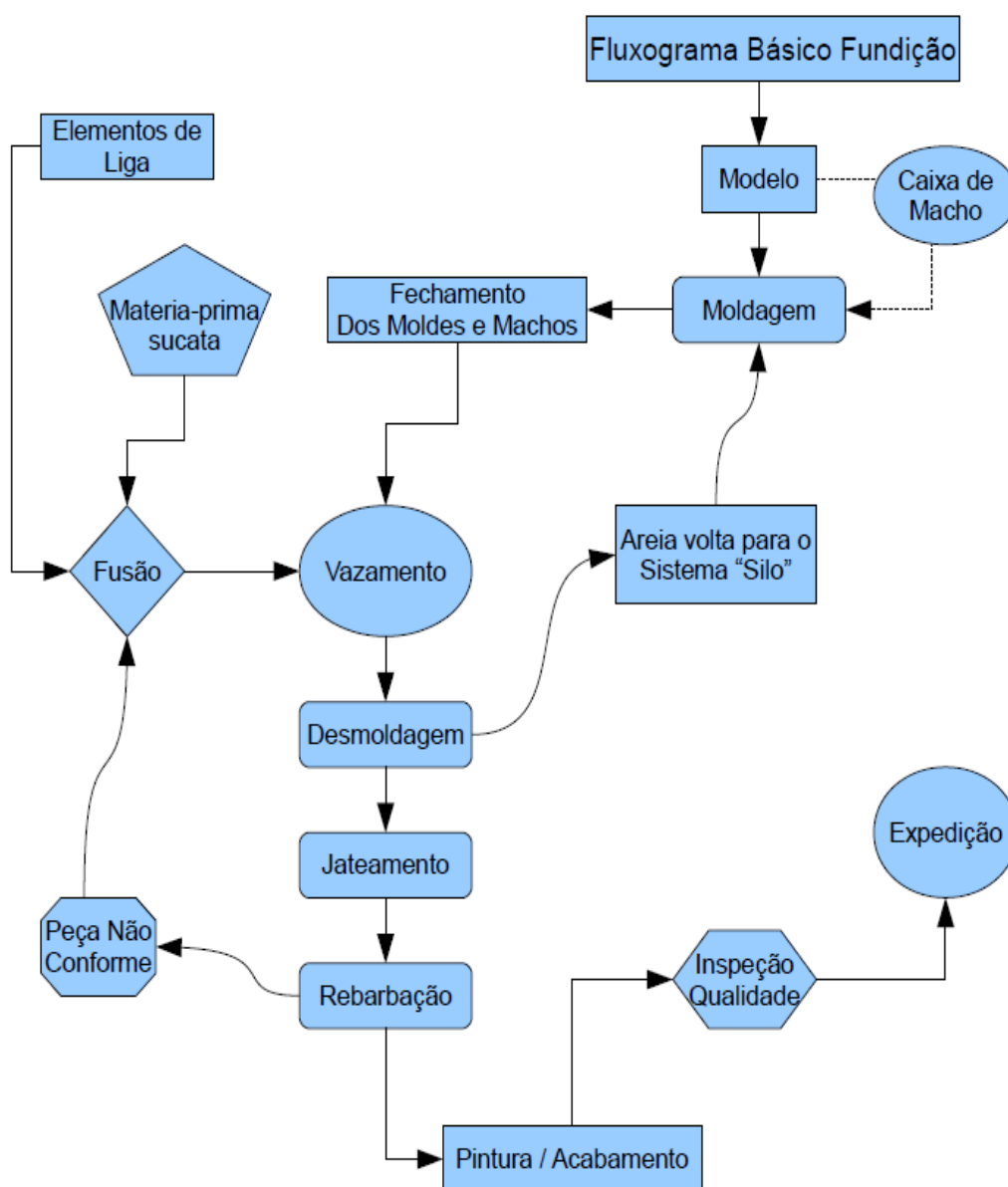
Normalmente a fundição se organiza em torno da moldação, pois é nesta seção que se define a quantidade de metal a fundir; machos a produzir, etc. Entretanto, quando a fundição está trabalhando bem abaixo da sua capacidade instalada o centro organizador da mesma se desloca da moldação para a seção de fusão.

Resumidamente, as etapas de produção de uma fundição, de acordo com SIEGEL (1979), caracterizam-se normalmente conforme as operações a seguir:

- Modelação: confecção do modelo de acordo com o desenho da peça;
- Moldagem e macharia: confecção dos moldes e machos;
- Fusão: preparação e obtenção do metal líquido;
- Vazamento: enchimento do molde com metal líquido;
- Desmoldagem: retirada da peça solidificada do molde;
- Rebarbação: processo de acabamento, limpeza, quebra dos canais e das rebarbas.

A Figura 2 a seguir apresenta as etapas principais de uma indústria de fundição, desde a concepção do modelo, até a expedição do produto. Também apresenta as interações entre as etapas do processo. Pode-se evidenciar que a moldagem, e a fusão são partes de grande concentração de fluxo, as quais necessitam de maior atenção no processo.

FIGURA 2- Etapas de produção de peças fundidas



Fonte: Adaptado de Kiminami, Castro e Oliveira (2013)

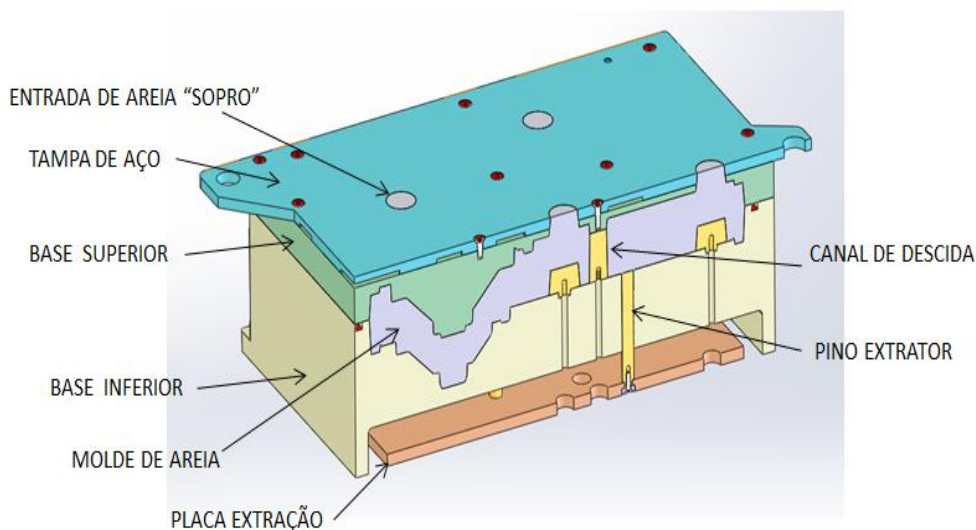
### 2.3.1.1 Modelos

A modelação, como descrita por Silva (2009), é o setor na qual realiza-se a fabricação de modelos e caixas de macho. Os materiais tradicionalmente utilizados são a madeira, alumínio, aço, ferro e resinas do tipo epóxi, sendo que eles diferem entre si quanto ao acabamento e à durabilidade que conferirão ao modelo. Assim, o ponto de partida para a obtenção do fundido é a confecção do modelo, réplica perfeita da peça final.



Na Figura 3, está apresentado o modelo de fundição para o processo em *Cold Box*, o qual é inserido em uma máquina sopradora, na qual a areia aglomerada é soprada para dentro, formando assim os moldes de areia.

FIGURA 3- Modelo de fundição para processo em *Cold Box* (vista em corte)



Fonte: Adaptado de Lauth (2009)

Uma peça mal projetada, conforme Siegel (1979), cria situações complexas para a produção de uma peça fundida, e tem influência direta na qualidade e no preço. Dentre os fatores que mais influenciam no projeto da peça fundida estão a característica geométrica, a fluidez, a contração e a resistência a quente.

Portanto, o conhecimento tecnológico, nesse sentido, é uma arte de saber determinar as linhas de partição dos modelos em suas formas mais complexas, projetar os canais de alimentação, ângulos de saída e as caixas de macho, prever a contração do metal e o sobremetal para posterior usinagem quando for o caso, possibilitando assim obter um processo de moldagem com todos os requisitos metalúrgicos necessários (KONDIC, 1973; SOARES, 2000; TORRE, 2004).

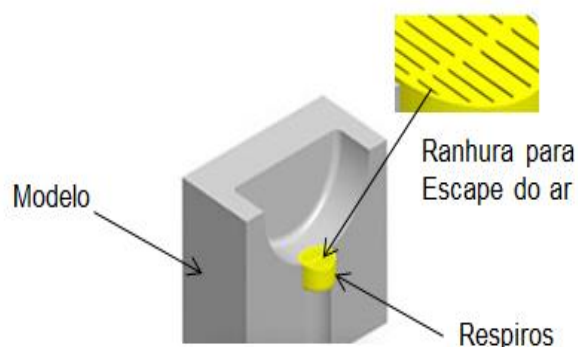
Por isso, Torre (2004) cita que a contração faz parte do processo de transformação dos metais do estado líquido para o sólido, ou seja, quando esses são despejados ainda líquidos para dentro dos moldes, na sequência esfriam-se, diminuindo o volume final. Já no processo de fundição, a contração acontece em três etapas:

- A contração do estado líquido tem início desde a temperatura de vazamento até o início da solidificação;
- A contração na solidificação acontece do início até o final da solidificação, e nestas duas etapas iniciais a contração é compensada nos modelos com a inclusão de massalotes reservatórios de metal líquido que constituem os canais de alimentação, sendo que sua principal função é garantir que a peça fundida seja totalmente preenchida com metal líquido assegurando assim sua sanidade;
- A contração no estado sólido aparece do final da solidificação até quando o metal atinge a temperatura ambiente, totalmente sólido. Sendo assim é de fundamental importância que os projetistas e/ou modelistas conheçam esses valores para dimensionar corretamente os modelos (Verran,1986).

Siegel (1979) afirma que para um bom funcionamento de um modelo ou caixa de macho, principalmente quando eles são fabricados para utilização em uma máquina sopradora, é de suma importância conhecer os pontos corretos dos modelos para a colocação de respiros de ventilação. Assim estará garantido o escape do ar que arrastou a areia para dentro do modelo e também posteriormente, para a gasagem dessa areia. Conforme descrito pelo fabricante de respiros Ventistamp, é fundamental considerar a granulometria da areia para definir a medida da ranhura do respiro, a fim de se alcançar máxima eficiência em relação à resistência, ao entupimento e à área de vazão.

A Figura 4 está representando o respiro inserido no modelo, o qual contém aberturas para a saída do ar descrita como ranhuras.

FIGURA 4- Representação do respiro para escape de ar inserido no modelo



Fonte: Adaptado de Ventistamp (2015)

Para auxiliar no desenvolvimento dos projetos de modelos, o fabricante recomenda utilizar respiros adequados para cada tipo de areia empregada no processo de moldagem, ou seja, em relação ao índice de finura da areia (AFS). Isso é bem exemplificado nas páginas 37 e 38.

TABELA 1- Dimensão da ranhura do respiro recomendada

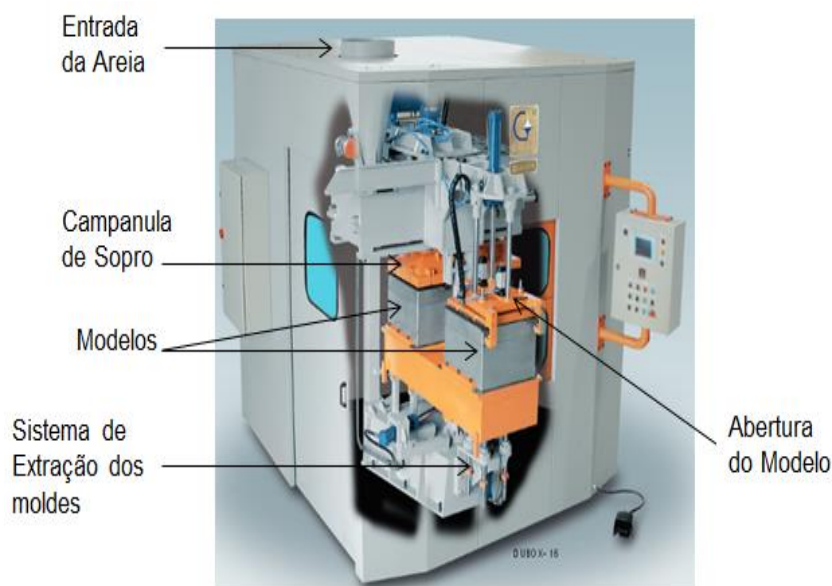
ÍNDICE DE FINURA DA AREIA (AFS)	TIPO DE RESPIRO
ATÉ 55 AFS	RANHURAS DE 0,45mm
ENTRE 55 E 75 AFS	RANHURAS DE 0,30mm
ACIMA DE 80 AFS	RANHURAS DE 0,20mm

Fonte: Adaptado de Ventistamp (2015)

### 2.3.1.2 Moldagem

A moldagem, conforme norma DIN 8580 (1985), é classificada como um dos grupos principais do processo de fabricação utilizado na indústria de transformação. A maneira para produzir os moldes em areia pode ser manual ou automatizada com máquinas de moldar.

A Figura 5 demonstra uma máquina sopradora, a qual exibe em detalhes a posição dos modelos, o sistema de extração dos moldes, bem como a abertura do modelo para retirada dos moldes de areia. Ela ilustra também o local de entrada da areia e a campânula e cabeçote onde são feitos o sopro e a gasagem da areia.

FIGURA 5- Máquina sopradora de moldes e machos para processo *Cold Box*

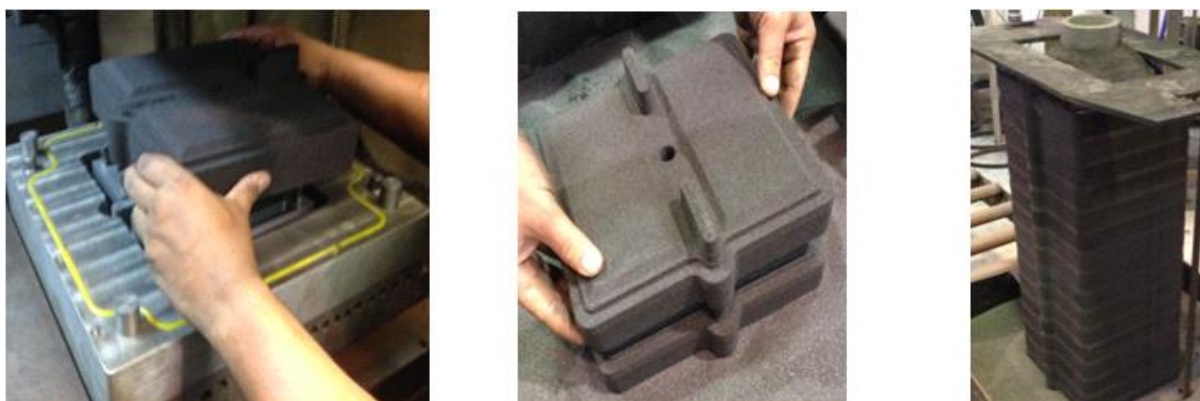
Fonte: Adaptado de Gevitec (2015)

#### 2.3.1.2.1 Moldagem em árvore

A moldagem em árvore é um processo mecanizado que é concebido para aumentar significativamente o número de fundidos por moldes, os quais são empilhados uns sobre os outros em camadas, formando assim uma árvore. Esse método é muito interessante porque permite produzir de uma só vez moldes completos, descritos como dupla face, ou seja, um único modelo possui tampa e fundo os quais são moldados simultaneamente. Também cabe salientar que o processo *Cold Box* permite a montagem dos moldes utilizando para isso um sistema de encaixe desenhado na própria areia, fazendo com que os moldes fiquem alinhados, não necessitando dessa forma de caixas metálicas para sua montagem (BRAGA; SILVA; ALVES, 2005).

Conforme ilustrado nas três figuras a seguir, podemos observar como é feito o processo de moldagem desde a retirada do molde de areia do modelo, seguido do seu empilhamento e, por último, visualizamos os moldes empilhados e presos em um dispositivo de fixação.

FIGURA 6- Representação das etapas de moldagem em árvore



Fonte: Adaptado de Braga; Silva; Alves, (2005)

Gerling (1982) descreve que o processo de moldagem é a fabricação de um corpo rígido, através de um material amorfo que são os líquidos, gases, pó, granulados e fibras. Entretanto, em linhas gerais, depois de feita a moldagem, as duas metades do molde juntam-se. Dependendo da situação, é necessária a inclusão dos machos, conforme a exigência do produto, e na sequência o metal líquido é vazado para dentro do molde, preenchendo toda a sua cavidade (KONDIC, 1973; CAMPOS FILHO, 1978). De modo resumido, pode-se dizer que os moldes representam as faces externas das peças e os machos as faces internas (ABIFA, 1999).

Em uma análise simples de composição do custo de uma peça fundida, o metal representa 40% e a moldagem representa 35%. São principalmente nesses dois pontos que a maioria das fundições buscam constantemente implementar melhorias e práticas de moldagem que propiciem maior produtividade e menor relação areia metal (BRAGA; SILVA; ALVES, 2005). Isso acontece de forma a conceber conjuntos que minimizem problemas ao longo do processo, uma vez que é na moldagem que a maioria dos problemas relacionados ao processo se evidencia, tais como problemas como falta de enchimento, cura ineficiente e adensamento inadequado.

A falta de enchimento do molde com areia está relacionada basicamente ao projeto do modelo que não foi bem avaliado em relação à geometria da peça, fazendo com que a areia ao ser soprada não consiga chegar adequadamente a todas as partes que o compõem (SIEGEL, 1979).

Portanto, conforme Siegel (1979), para que ocorra o enchimento em um modelo com areia soprada é preciso retirar o ar do mesmo. Esses respiros servem para direcionar o gás catalisador para todas as partes do modelo, fazendo com que ocorra a cura e o adensamento da areia de forma eficiente.

Os moldes e machos, conforme menciona Kondic (1973), precisam ser suficientemente resistentes a ponto de suportar seu próprio peso, sem deformar, devido ao emprego normal de forças de compressão. Além disso, o metal líquido ao entrar em contato com as paredes do molde e macho exerce pressões consideráveis. O empuxo proveniente da pressão metalostática pode ser descrito pela equação:

$$P = \rho \cdot h \cdot A \quad (1)$$

Onde:

$P$  = empuxo (N)

$\rho$  = peso específico do material ( $\text{kg/m}^3$ )

$h$  = altura (m)

$A$  = área ( $\text{m}^2$ )

Portanto, o empuxo representa a força resultante exercida pelo fluido sobre um corpo. Com essa força conhecida, sabe-se qual peso necessário deve-se colocar sobre os moldes para que eles não abram durante o vazamento do metal líquido.

Além da pressão metalostática, os moldes e machos devem suportar também as tensões produzidas pela expansão térmica não uniforme do mineral base (areia). Assim, as faces quentes dos moldes expandem-se relativamente às partes mais frias, ocasionando trincas, que são preenchidas com metal, acarretando defeitos superficiais como descascamento. Também algumas ligas como ferro fundido cinzento, durante sua solidificação, tendem a expandir a cavidade dos moldes ocasionando peças maiores que as obtidas em moldes rígidos (KONDIC, 1973; SIEGEL, 1979).

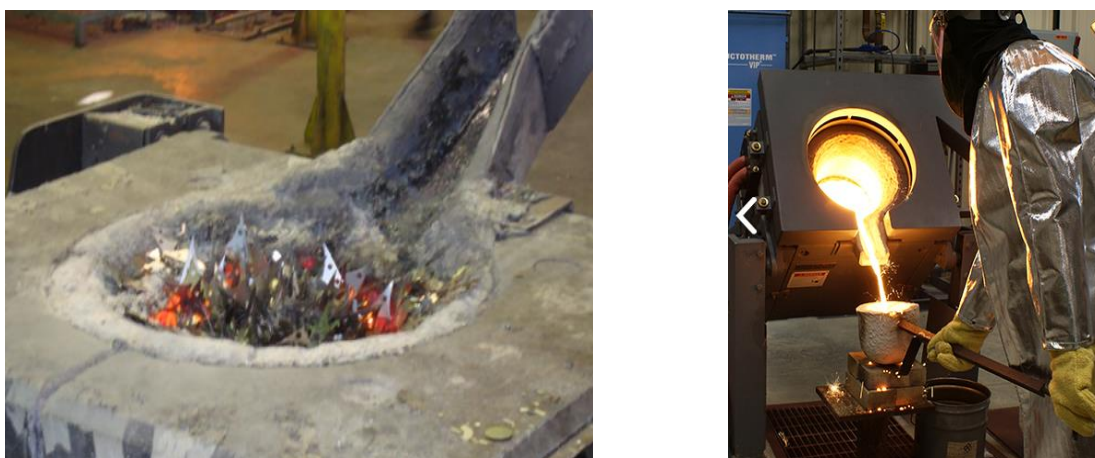
### 2.3.1.3 Fusão

À fusão é a etapa na qual uma determinada quantidade de material metálico constituída por pedaços sólidos de metais, sucatas ou ligas, com formatos e composição química diversas é fundida utilizando-se, para isso, um forno revestido com material refratário em temperatura compatível com a matéria prima a ser fundida. Em geral, a temperatura de fusão dos metais e ligas utilizadas normalmente na indústria varia desde 200°C até 1600°C (KONDIC, 1973).

No entanto, antes do vazamento, o material fundido deve ser analisado, com correção de sua composição química, pois a microestrutura e, conseqüentemente, as propriedades da peça dependem não só do processamento, mas principalmente da sua composição química. Porém, a utilização intensiva de sucatas dificulta o controle dessa composição (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013). Coutinho Neto (2004) menciona também que o controle da temperatura antes do vazamento é outro fator importante a ser analisado. Ela deve encontrar-se entre 100/300°C acima da temperatura de início de solidificação.

As imagens, conforme a Figura 7, representam um forno de fusão, o qual está utilizando como matéria prima sucatas de aço provenientes de processos de estampagem para obtenção do metal líquido. Também apresenta como é feita a transferência do metal líquido do forno de fusão para a panela de vazamento.

FIGURA 7- Forno de fusão



Fonte: Adaptado de Soares (2000)

#### 2.3.1.4 Vazamento

O vazamento do metal líquido no interior dos moldes é uma das fases mais importantes da fundição, uma vez que o comportamento do metal líquido durante o vazamento e a sua solidificação vai determinar a sanidade do fundido. No setor de vazamento, o metal líquido é transferido do forno para a panela de vazamento, que despejará o metal nos moldes de areia, preenchendo-se, assim, todas as partes da cavidade antes de se solidificar. As principais variáveis nessa fase são a limpeza da panela, a temperatura e a velocidade de vazamento. Uma velocidade e altura de vazamento muito alta podem provocar turbulências, ocasionando erosão da areia e inclusão de grãos na peça. A temperatura muito alta pode ocasionar o rompimento das paredes dos moldes com espessura de areia muito pequenas, e também a microestrutura do material é influenciada pela temperatura de vazamento (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Braga, Silva e Alves (2005) citam também que quanto menor o tempo e a quantidade de vezes que o operador necessita para realizar o vazamento do metal líquido para preencher totalmente os moldes, melhor. Sendo assim, quanto maior o número de moldes e a distância percorrida para o vazamento, maior é a perda de metal, e maior é a perda de temperatura devido ao maior tempo de vazamento, tornando menor a segurança da operação. Nesse sentido, é na fusão que se percebem as vantagens principais que o processo em árvore tem demonstrado. Pelo fato dos moldes serem empilhados, a área útil necessária ou ocupada é menor. Sendo assim, a quantidade de metal a ser vazado concentra-se em poucos pontos, diminuindo significativamente o tempo necessário para esvaziar a panela de vazamento.

A imagem a seguir demonstra como é feito o vazamento do metal líquido através de uma panela de vazamento. Também ilustra como os moldes são empilhados, formando assim o processo de fusão em árvore.



FIGURA 8- Processo de vazamento do metal líquido em moldes de areia



Fonte: Adaptado de Coutinho Neto (2004)

#### 2.3.1.5 *Desmoldagem*

É na desmoldagem que acontece a operação de retirada das peças sólidas de dentro dos moldes de areia. Nela é separado o produto (peça) da areia e dos canais de alimentação específico para o ferro fundido. É importante controlar a temperatura em que a operação é feita para evitar choque térmico e, conseqüentemente, trincas na peça. Os sistemas de desmoldagem devem ser estudados para cada tipo de fundição, considerando-se o tipo de peça a produzir e o tipo de mecanização, podendo ser feitos sobre grades fixas ou com desmoldadores vibratórios. Atualmente, existem equipamentos de desmoldagem capazes de recondicionar a areia quase que totalmente, utilizando-se peneira fina vibratória, quebradores de torrões, ventilação e separação magnética (SIEGEL, 1979; COUTINHO NETO, 2004).

#### 2.3.1.6 *Rebarbação*

Na seqüência da operação, após a desmoldagem, é realizada a limpeza das peças. Após o corte dos canais de alimentação, essas áreas precisam de

acabamento superficial. Por essa razão, torna-se necessária a retirada de incrustações de areia da peça fundida e rebarbas provenientes do processo de fusão. Essa limpeza é feita, em geral, com jatos de granalhas, com posterior utilização de esmeril para lixamento das sobras de canais (SIEGEL, 1979).

Conforme relata a revista fundição e serviços FS (2014), em uma pesquisa nas indústrias do setor, o processo de acabamento é o item com maior índice de reclamações. Em grande parte, os gargalos e as dificuldades encontradas são geradas pela dificuldade de encontrar mão de obra, essa desmotivada pelo ambiente insalubre e pelos baixos salários.

### **2.3.2 Areias de fundição e suas particularidades**

Os principais materiais utilizados para confecção dos moldes e machos são em sua maioria areia de quartzo ou sílica, gesso, cimento, bentonita, resinas sintéticas e catalisadores (SILVA, 2009). Seu consumo depende do tipo de peça a ser confeccionada, sendo caracterizada minerologicamente como agregado fino e puro, com granulometria variando de 0,05mm a 2,0mm de diâmetro (GIANNINI, 1995; MARINO, 2003).

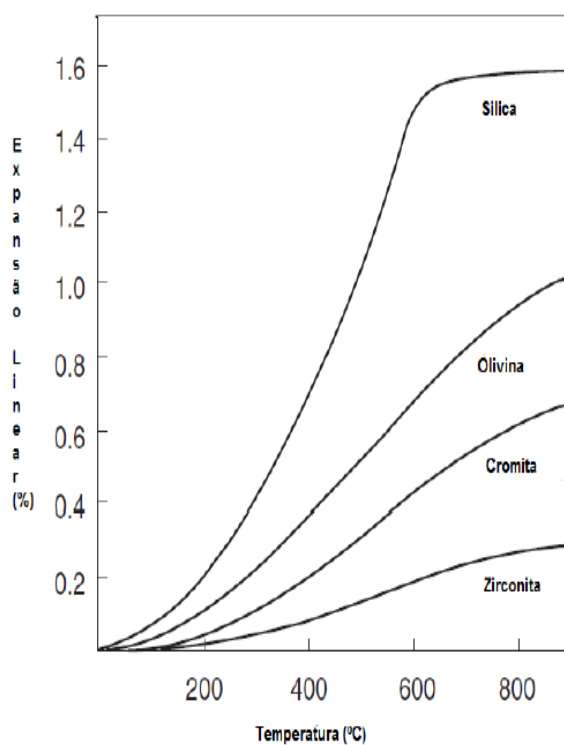
A areia de moldagem deve apresentar elevada refratariedade, boa resistência mecânica, permeabilidade adequada e plasticidade (ou moldabilidade) e deve ser quimicamente inerte a metais fundidos. Ela precisa possuir estabilidade dimensional e térmica a elevadas temperaturas, sendo capaz de suportar as temperaturas do metal fundido, sem que esses moldes se rompam ou se fundam (TORRE, 2004). Deve ainda possuir pureza e potencial hidrogeniônico (pH), de acordo com os requisitos dos sistemas ligantes. Já da areia destinada à fabricação de machos espera-se, além dos requisitos exigidos para a areia de moldagem, boa colapsibilidade, definida como a perda de resistência da areia após o início da solidificação da peça (GARNAR, 1977; SOARES, 2000; SILVA, 2009).

A areia de fundição mais usada ao longo dos anos tem sido a de sílica por tratar-se de um material abundante, sendo o silício o elemento mais comum e o mais facilmente extraído dos minerais do nosso planeta. Porém possui maior expansão térmica e instabilidade, ocasionando dificuldades quanto à precisão dimensional dos fundidos (MARIOTTO, 1978). Também Thiel (2011) descreve que o fato dessa areia

sofrer expansão no aquecimento, próximo à temperatura de 573°C, devido à uma mudança de fase de alfa ( $\alpha$ ) para beta ( $\beta$ ), com um aumento rápido de volume entre 4,74% e uma expansão linear de 1,56%, provoca o defeito conhecido como veiamento. Brown (2000) enfatiza que uma alternativa à areia de sílica são os materiais como zirconita, cromita e mulita, devido à baixa expansão térmica e estabilidade dimensional.

A Figura 9 evidencia o percentual de expansão linear que alguns tipos de areia apresentam quando sujeitas a níveis de temperaturas diferentes. Com esses dados, pode-se determinar qual tipo de areia é recomendada para materiais diferentes a serem fundidos.

FIGURA 9- Gráfico de expansão linear de diversos materiais x temperatura



Fonte: Adaptado de Brown (2000)

### 2.3.3 Critérios de classificação das Areias de fundição

Segundo Siegel (1979), as areias de moldagem classificam-se segundo os critérios de constituição, tais como origem, uso, emprego na caixa de fundição, estado de umidade e qualidade do metal.

a) Quanto à origem:

- Areias naturais: originadas de arenitos de cimento argiloso, são usadas diretamente na moldagem, sofrendo apenas uma correção na umidade; são pouco utilizadas devido a suas baixas propriedades;
- Areias semissintéticas: são resultantes das modificações introduzidas nas areias naturais, por meio de adição de substâncias que visam corrigi-las, melhorando suas qualidades;
- Areias sintéticas: são obtidas pela mistura correta da areia-base e aglomerantes, em proporção adequada e umidade determinada.

b) Quanto ao uso:

- Areia nova, quando utilizada pela primeira vez na fundição;
- Areia usada ou reciclada, quando recuperada de fusões anteriores; utiliza cerca de 5 a 10% de areia nova para recompor as perdas durante a reciclagem e manter as propriedades da areia estáveis; muito utilizada em fundição de areia-verde.

(c) Quanto ao emprego na caixa de fundição:

- Areia de faceamento é a parte da areia que faceia o modelo e entra em contato com o metal de vazamento;
- Areia de enchimento é a areia que constitui o restante da caixa de moldagem;
- Areia de macho é aquela destinada ao preparo dos machos, conformadores das cavidades internas das peças.

c) Quanto ao estado de umidade da areia:

- Areia úmida ou verde é a que mantém no momento do vazamento, aproximadamente, a mesma umidade do preparo;
- Areia estufada é aquela preparada com composição adequada para macho e mol- des e que sofre cozimento em estufa antes do vazamento;

d) Quanto à qualidade do metal:

- Areias para metais ferrosos (ferro fundido cinzento, maleável e aço);
- Areia para metais não ferrosos (bronze, latão, cobre, níquel, alumínio e magnésio).

### 2.3.4 Granulometria da areia

Outro ponto que interfere na qualidade do fundido é a granulometria da areia. O ensaio para determinar essa granulometria consiste de uma série de peneiras distribuídas de tal forma que a abertura de malha possua intervalo de 3,35mm até 0,053mm. Quando o molde possuir uma grande quantidade de grãos finos, no momento que o metal líquido tocar as paredes do mesmo, produzirá gases. Como esses gases não conseguem sair devido à ausência de poros, eles aumentarão a pressão interna, causando danos à integridade do molde. Já o oposto acontecerá quando o molde for formado por grande quantidade de grãos grossos; haverá uma melhor permeabilidade, facilitando o escoamento dos gases, porém a qualidade superficial da peça apresentará um aspecto mais rugoso (KONDIC, 1973; SIEGEL, 1979; SOARES, 2000).

Soares (2000) afirma também que para cada tipo de metal a ser fundido recomenda-se utilizar um tipo de granulometria específico, conhecido como módulo de finura (AFS). Ele possui este nome porque as séries de peneiras utilizadas são da *American Foundry Society*.

A Tabela 2 abaixo demonstra que para cada tipo de metal que as fundições utilizarem em seus processos é preciso levar em conta o módulo de finura (AFS) da areia a ser empregada.

TABELA 2- Módulo de finura da areia recomendado para cada tipo de metal


METAL	MÓDULO DE FINURA (AFS)
Aços Fundidos	50-90
Ferros fundidos	80-130
Não Ferrosos	90-160

Fonte: Adaptado de Soares (2000)

Já a Figura 10 exemplifica como é feito o cálculo do módulo de finura (AFS). Para obtê-lo, despeja-se uma quantidade de areia em uma série de peneiras que contém certa abertura em milímetros. Cada peneira retém um percentual de areia. Pesa-se, então, a areia em cada nível e a soma total deve ser igual ao peso

inicial. O módulo de finura é a soma de cada nível da coluna produto, o qual dá um valor total que será dividido por 100, resultando no módulo de finura da areia.

FIGURA 10- Cálculo do módulo de finura

ABERTURA NOMINAL DE PENEIRAS PARA SIMULAÇÃO DE CÁLCULO DE MÓDULO DE FINURA (AFS)					
Entre com o PESO (G) para simular o cálculo do módulo de Finura AFS					
PENEIRAS ABNT	ABERTURA (mm)	PESO (G)	RETIDO (%)	FATOR	PRODUTO
#6	3,350	0,00	0,00	3	0,00
#12	1,700	0,00	0,00	5	0,00
#20	0,850	0,14	0,28	10	2,80
#30	0,600	0,48	0,96	20	19,20
#40	0,425	1,57	3,14	30	94,20
#50	0,300	4,75	9,50	40	380,00
#70	0,212	12,40	24,80	50	1240,00
#100	0,150	21,06	42,12	70	2948,40
#140	0,106	8,98	17,96	100	1796,00
#200	0,075	0,62	1,24	140	173,60
#270	0,053	0,00	0,00	200	0,00
Prato	-	0,00	0,00	300	0,00
<b>Soma</b>		<b>50,00</b>	<b>100,0</b>		<b>6654,20</b>
Módulo de Finura AFS = $6654,2 / 100 = 66,54$					

Fonte: Adaptado de Jundu (2015)

Praticamente todos os processos que utilizam areia para moldagem são obrigados a descartar regularmente uma quantidade de areia usada, em torno de 5%, proporcional à quantidade de areia nova comprada e inserida no sistema. Dessa forma, conseguem manter constante a quantidade e a qualidade de areia em processamento na fundição. Os pedaços de machos que não se dissolveram totalmente (torrões) e que ficaram retidos em uma peneira rotativa também são rejeitados. Não fosse a presença de areia de macho, muitas areias descartadas pelas fundições poderiam ser classificadas como “inerte” (classe III) segundo a NBR 10.004. Entretanto, a maioria acaba sendo classificada como “não inerte” (classe II), enquanto que algumas, por conterem quantidades elevadas de torrões (que têm concentrações de fenóis superiores aos limites admissíveis na norma), são classificadas como resíduo “perigoso” (classe I) (SCHEUNEMANN, 2005).

### 2.3.5 Perda ao Fogo

A norma da Comissão de Estudos de Matérias Primas (CEMP – 120 da ABIFA) prescreve o método de determinação do teor de materiais orgânicos e da água de cristalização contidos nos constituintes dos materiais para fundição. Ela consiste na queima, decomposição e eliminação de materiais orgânicos presentes nos sólidos dos materiais para fundição. Quando da reutilização da areia que não sofreu o processo de volatilização dos aglomerantes que ficaram retidos na superfície dos grãos de areia, são adicionados novos aglomerantes, o que provoca um aumento da geração de gases. Para determinar a perda ao fogo, utiliza-se a fórmula abaixo, na qual o resultado é expresso em porcentagem com precisão de 0,01:

$$PF = \frac{MA - MR}{MA} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PF= perda ao fogo, em %;

MA= massa da amostra, em gramas;

MR = massa do resíduo, em gramas.

Portanto, quanto maior o percentual de perda ao fogo, maior o percentual de descarte de areia e maior será o índice de peças defeituosas. Nesse sentido, a perda ao fogo recomendada para o processo de moldagem com areia furânica é de no máximo 3%. No entanto, se empregados artifícios de remoção de gases durante a moldagem e fusão, esse percentual de 3% pode ser elevado para 3,5% na areia recuperada, sem prejudicar a qualidade final do fundido. Possibilita-se, assim, trabalhar com baixíssima porcentagem de areia nova, conseqüentemente reduzindo o descarte de areia (CONRAD, 1991). Também D'elboux (2000) menciona que a qualidade da areia a ser recuperada é melhor à medida que o volume ou espessuras de areia envolvendo a peça fundida é menor. Isso quer dizer que os aglomerantes da mistura da areia volatilizam em função da temperatura do metal empregado para preencher a cavidade do molde, conseqüentemente reduzindo o percentual de perda ao fogo da areia, resultando em menor geração de gases.

Em ABIFA (1999) é mencionado que as areias regeneradas por calcinação ou queima térmica caracterizam-se por valores de perda ao fogo comparáveis e frequentemente menores do que o observado nas areias novas, garantindo-se, em geral, valores menores que 0,05%. Valores abaixo de 0,1% são facilmente atingidos.

### 2.3.6 Teor de Umidade

Segundo Lopes (2010), uma areia com um alto teor de umidade, maior que 0,2% do peso da mesma, pode ser muito prejudicial à peça. Por esse motivo, a areia deve apresentar baixa umidade, pois umidade em excesso pode gerar bolhas de vapor quando a areia entrar em contato com o metal líquido, fragilizando o molde. Abaixo, encontra-se a fórmula para cálculo do teor de umidade, sendo o resultado expresso em porcentagem.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

Pf = Massa final da amostra (gramas);

Pi = Massa inicial da amostra (gramas).

### 2.3.7 Aglomerantes

Para a fabricação do molde com areia é necessária a utilização de aglomerantes que são os responsáveis pela resistência mecânica dos moldes. Já as propriedades mecânicas dos moldes produzidos com aglomerantes são sustentadas pela ação adesiva que faz o ligante aderir aos grãos de areia.

São materiais que envolvendo e ligando entre si os grãos conferem à areia, após compactação, secagem ou reação química, as características necessárias ao processo de moldagem, isto é, resistência às solicitações dinâmicas, estáticas e térmicas provocadas pelo metal fundido. Para um dado aglomerante, com o aumento do seu teor aumenta a resistência e a dureza da areia e diminui a permeabilidade. Os aglomerantes se subdividem em aglomerantes inorgânicos, orgânicos e sintéticos. (SOARES, 2000, p. 18).

É preciso esclarecer que cada tipo de aglomerante apresenta



características particulares, a diferentes condições dos processos de moldagem.

(a) Aglomerantes inorgânicos:

Argila e/ou bentonita são os aglomerantes clássicos das areias verdes recicláveis, enquanto que o cimento, devido à sua baixíssima colapsibilidade, praticamente não é mais utilizado.

(b) Aglomerantes orgânicos:

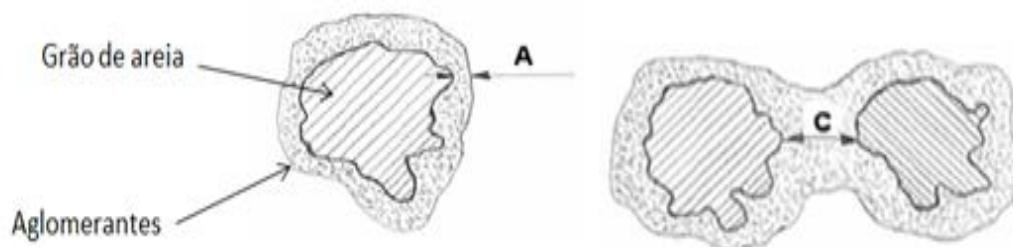
Os óleos secativos e semi-secativos como os óleos de linhaça, amido de milho, farinhas de cereais e melaço de cana, têm como vantagem alta resistência que, em alguns casos, é superior aos aglomerantes inorgânicos. Eles também apresentam uma boa colapsibilidade, mas com o surgimento das resinas os aglomerantes orgânicos naturais caíram em desuso.

(c) Aglomerantes sintéticos:

Existem basicamente duas classes de resinas: as que polimerizam pela ação do calor e as de cura a frio. A utilização de resinas como aglomerantes cresce dia a dia, pois conferem excelente resistência aliada a uma boa colapsibilidade. Assim, os fundidores dispõem hoje de uma enorme gama de resinas e catalisadores para os mais diversos fins (SOARES, 2000).

Na figura 11 está representado como os aglomerantes se integram aos grãos de areia envolvendo e fazendo com que os mesmos fiquem unidos. Nela observa-se que a força de adesão “A” é a capacidade de o aglomerante desenvolver a aderência ao grão de areia. A força de coesão “C” é a capacidade de o aglomerante desenvolver a aderência para manter os grãos de areia unidos.

FIGURA 11- Representação da interação entre aglomerante e grão de areia



Fonte: Adaptado de D'elboux (2000)

### 2.3.8 Resinas

No processo *Cold Box*, as resinas utilizadas fazem parte de um sistema constituído por duas partes que reagem entre si e curam à temperatura ambiente na presença de um catalisador. A parte I é um tipo fenol-éter-poli-benzílica dissolvido em uma mistura de hidrocarbonetos aromáticos e ponto de ebulição alto de 158°C, proporcionando segurança quanto à saúde do trabalho. A parte II é um poli-isocianato, ou mais precisamente difenilmetano-di-isocianato, conhecido como MDI, dissolvido com solventes orgânicos voláteis. O poli-isocianato é suscetível à reação com a umidade, sendo necessários cuidados com a armazenagem, em embalagens hermeticamente fechadas, e tempo de seis meses (WEINFURTER, 1990).

### 2.3.9 Resíduos Sólidos

Segundo Siegel (1979) e Dantas (2003), apesar de consumir muitas sucatas metálicas como matéria prima, o setor de fundição também gera grandes volumes de resíduos sólidos, entre os quais areia de moldagem e poeiras diversas. No entanto, a maneira de se desfazer desses resíduos tornou-se um grande problema para o setor de fundição.

Quando os resíduos de areias descartadas de fundição (ADF) advêm de moldes produzidos com ligantes químicos, especialmente resinas tóxicas, a disposição mesmo em aterros industriais é problemática, sendo a solução técnica ideal para o reciclo pela regeneração térmica. Por essa razão, os órgãos ambientais têm de forma crescente recomendado o reaproveitamento das areias descartadas

de fundição por parte das empresas fundidoras. Entretanto, o reciclo das areias de fundição requer equipamentos sofisticados e elevados investimentos, o que aumenta o custo das areias de fundição. Por essa razão, as empresas do setor têm dificuldade para a implantação de sistemas eficientes de reciclo industrial, limitando-se a destorroar mecanicamente parte de suas areias já utilizadas para reciclo (CASTRO, 2001).

Conforme a norma NBR 10004, que trata da classificação dos resíduos sólidos, as areias de fundição, quando apresentarem concentração de resíduos químicos inflamáveis e toxicológicos, são classificadas como resíduos perigosos. Porém, a mesma norma cita que a indústria geradora de resíduos anexos A e B pode demonstrar, por meio de laudo de classificação, que a quantidade de químicos inflamáveis e toxicológicos é baixa, e seu resíduo em particular não apresenta nenhuma das características de periculosidade conforme especificadas na norma. No laudo de classificação deve constar a indicação da origem do resíduo, a descrição do processo de segregação e a descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados.

De acordo com Mariotto (2000), a quantidade de areia recuperada que pode ser reintroduzida na produção é tanto maior quanto menor a relação areia/metall e quanto maior a temperatura de vazamento. Areias ligadas com resinas furânicas são as mais fáceis de recuperar por meios exclusivamente mecânicos, sendo possível usar entre 50 e 80% de areia recuperada, dependendo das exigências das peças com relação à perda ao fogo.

Para realizar a limpeza dos grãos, os tratamentos mecânicos, úmidos e térmicos têm sido empregados mais frequentemente, isoladamente ou de forma combinada:

O processo mais simples e barato consiste na retirada do aglomerante, a seco, por atrito entre os grãos, usando-se britador ou células pneumáticas. O processo úmido resulta num rendimento mais elevado, mas o gasto energético é muito alto e a água tem que ser tratada antes do descarte. Por exemplo uma instalação para recuperação de areia de silicato com capacidade de 5 ton./h consome 680 litros de água/min. Em areias com resinas ou aglomerantes orgânicos pode se usar o processo térmico

normalmente em combinação com o processo seco ou úmido. A calcinação da areia é feita entre 800 e 1000°C em fornos rotativos - forno com 1m de diâmetro e 4 m de altura pode recuperar 1 ton./h - ou leito fluidizado (SOARES, 2000, p. 26).

A recuperação térmica de areia é melhor do que a recuperação mecânica. Na areia recuperada mecanicamente por atrito, o aglomerante empregado na mistura da areia preparada mantém-se em grande parte aderido aos grãos de areia. Já a recuperação térmica, através do aquecimento, elimina quase que totalmente esses aglomerantes prejudiciais à qualidade da areia (SIEGEL, 1979; ABIFA, 1999; MARIOTTO, 2000).

Siegel (1979) menciona que o ponto principal da recuperação da areia é que seja devolvida ao setor de moldagem em condições físicas e químicas para que possa ser utilizada em substituição, ou misturada como a areia nova, produzindo fundidos com qualidade satisfatória, e principalmente com uma economia no custo de fabricação do molde e do macho.

Silva (2007) descreve que as areias de fundição descartadas são utilizadas em muitos países como práticas de reuso benéfico ao meio ambiente, economia e sociedade em geral, sendo elas: pavimentadoras de asfalto; fabricação de tijolos; concreto pré-fabricado; preenchimento de sub-base de estradas; barreiras de contenção em estradas e trincheiras; camadas intermediárias e de coberturas de aterros sanitários.

Contudo, mesmo com a existência de regulamentos para a reutilização das areias descartadas de fundição, é necessário que o setor mantenha-se engajado na melhoria das normas existentes, no desenvolvimento de outras aplicações e na viabilização econômica, buscando a sustentabilidade dos processos pela redução dos impactos ambientais e pelo aumento da competitividade (MASTELLA, 2013).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar qual a menor espessura de parede possível em moldes de areia fabricados pelo processo *Cold Box*, o qual é submetido a diferentes condições. Para atingi-lo, torna-se necessário avaliar a influência dos parâmetros de fabricação do molde, dentre eles a espessura da parede de areia nos moldes, a quantidade de areia utilizada, a pressão metalostática, o percentual de perda ao fogo e a recuperação térmica da areia.

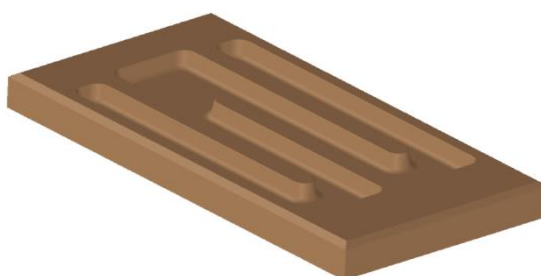
Para o desenvolvimento deste trabalho, além da revisão de literatura, faz-se necessário o desenvolvimento do projeto do produto a ser fundido, o projeto do modelo e a fabricação dos seus componentes.

A etapa de ensaio, nesse sentido, prevê o aprofundamento teórico-prático para que haja a compreensão dos fatores diretamente relacionados com a espessura de parede de areia e o nível de recuperação térmica em moldes de areia *Cold Box*, os quais são utilizados para o processo de fusão em árvore.

#### 3.1 PRODUTO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma peça de ferro fundido com formato retangular e rebaxos na face superior, contendo uma massa de 1,950 quilogramas. O produto será vendido para uma empresa fabricante de máquinas para o setor de construção civil. A Figura 12 representa a peça utilizada no projeto.

FIGURA 12- Representação do produto utilizado no experimento



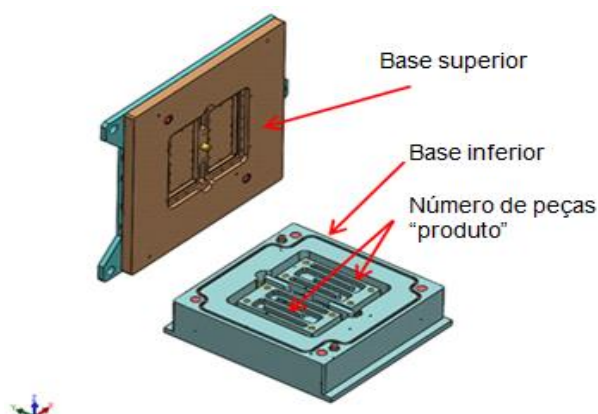
Fonte: o autor (2015)

### 3.2 PROJETO DO MODELO

Para o desenvolvimento do estudo, foi projetado e fabricado um modelo para a utilização em uma sopradora de areia, específico para a utilização em processo *Cold Box*. Para o início do projeto, foi utilizado um padrão de modelo com dimensões externas de 400x400x150mm de altura. O projeto foi concebido para que o modelo pudesse receber um sopro de areia, possibilitando a formação do molde, com as devidas espessuras de paredes previamente definidas. A principal característica do modelo foi a possibilidade de realizar diversas usinagens modificando, desta forma, as espessuras de paredes. Essa característica foi importante porque na prática é muito mais fácil retirar material na usinagem do modelo do que incluí-lo. Sendo assim, como ponto de partida, foi definida uma espessura mínima possível de parede a ser usinada e que ao mesmo tempo possibilitasse ser soprada adequadamente na sopradora.

Todas as peças do modelo são novas, exceto a parte da base inferior que foi aproveitada de um modelo existente, diminuindo assim seu custo e o tempo de fabricação. A Figura 13 representa o projeto do modelo, com as bases inferior e superior separadas, e a vista em três dimensões desenvolvidas no *Solidworks*.

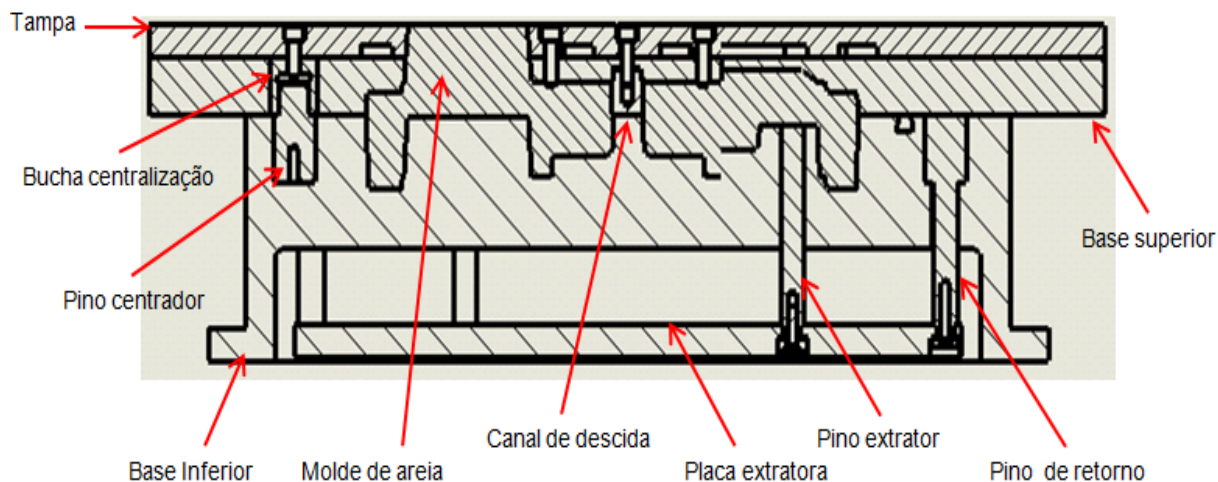
FIGURA 13- Vista do projeto do modelo em 3D



Fonte: o autor (2015)

A imagem a seguir apresenta o modelo completo em uma vista em corte, bem como o molde de areia e os componentes principais.

FIGURA 14- Vista do projeto do modelo em corte

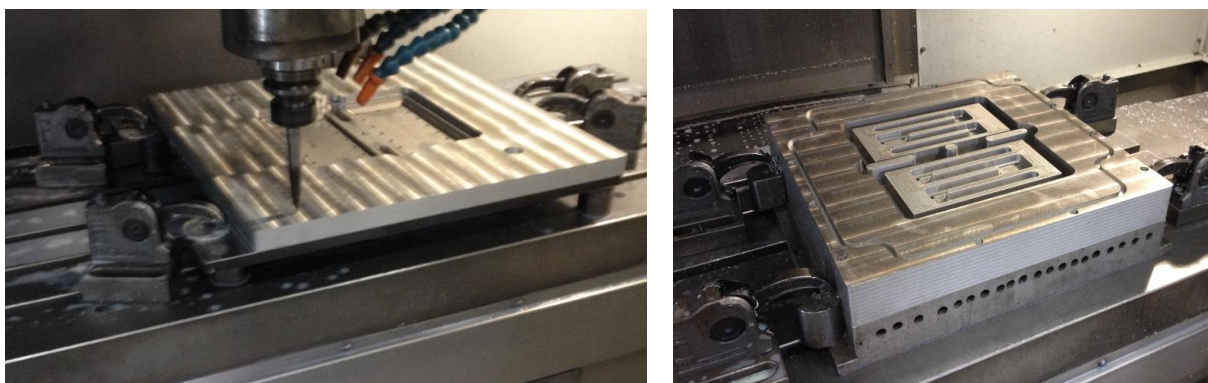


Fonte: o autor (2015)

### 3.3 FABRICAÇÃO DO MODELO

A usinagem dos componentes do modelo foi realizada no setor de ferramentaria da empresa Nova Motores e Geradores Elétricos Ltda. Para a fabricação do modelo, foi utilizado um centro de usinagem marca Romi; os programas foram gerados através do *software Edgcam*. As bases superior e inferior foram feitas em alumínio e a tampa e a placa extratora foram confeccionadas em aço. Todas as partes que compõem as cavidades são novas, exceto a parte onde está alojada a placa de extração da base inferior. Nela foi utilizado um modelo desativado. A Figura 15 apresenta a base superior e a inferior sendo usinadas.

FIGURA 15- Usinagem das bases superior e Inferior do modelo



Fonte: o autor (2015)

Os pinos extratores e de retorno também são novos, sendo fabricados em aço, utilizando-se para isso um torno mecânico da marca Nardini. A Figura 16 apresenta o processo de torneamento.

FIGURA 16- Usinagem dos pinos do sistema de extração do modelo



Fonte: o autor (2015)

O modelo foi concebido de maneira que o molde de areia fique alojado na base inferior no momento da sua abertura. O recurso utilizado para que isso ocorra é diminuir o ângulo de saída das paredes externas do modelo da base inferior e aumentar o ângulo das paredes externas da base superior. Assim, o sistema de extração da máquina empurra a placa extratora do modelo, o qual aciona os pinos extratores, retirando o molde da base inferior. A figura 17 exibe a montagem do sistema de extração do modelo na base inferior.

FIGURA 17- Montagem do sistema de extração



Fonte: o autor (2015)



### 3.4 MOLDAGEM DOS MOLDES

Após a fabricação, o modelo foi encaminhado para o setor de moldagem de uma fundição localizada na cidade de Joinville. Para a moldagem dos moldes em areia, utilizou-se uma máquina sopradora da marca Gevitec, com capacidade de sopro de 16 litros. A máquina permite trabalhar com dois modelos diferentes simultaneamente, com sistema duplo *pallet*, sendo que em um lado acontece a fabricação (sopro e gasagem) e no outro lado a extração do molde. Os parâmetros utilizados, tais como dosagem de catalisador, tempo de sopro, tempo de gasagem e tempo de lavagem (cura) são todos definidos no painel da máquina. É importante enfatizar que para cada tipo de modelo pode-se definir diferentes parâmetros a serem utilizados. A Figura 18 ilustra uma sopradora da marca Gevitec. É possível perceber a vista interna e ao lado a visão frontal, lugar de onde são retirados os moldes.

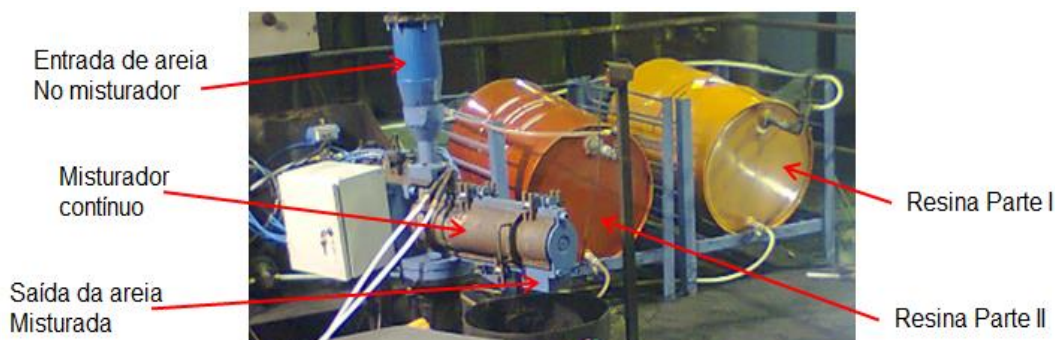
FIGURA 18- Máquina sopradora



Fonte: o autor (2015)

Acima da máquina sopradora está acoplado o misturador de areia, do tipo contínuo, o qual é responsável por misturar as resinas (parte I e parte II), conforme dosagem específica. As resinas ficam alojadas em tambores de 200 litros e são pulverizadas para dentro do misturador através de uma bomba de engrenagem variável, sendo que o ciclo de mistura é programável. A imagem a seguir mostra o misturador contínuo e os tambores das respectivas resinas.

FIGURA 19- Misturador contínuo de areia



Fonte: o autor (2015)

A areia utilizada na fabricação do molde teve como característica principal apresentar o módulo de finura 67,63 (AFS), conforme laudo técnico fornecido pelo fabricante Mineração Nilson. Esta e as demais características da areia podem ser verificadas no Anexo A. As resinas fenólicas utilizadas no processo foram fornecidas pelo fabricante Crios, sendo que a parte I é denominada CR-1200 e a parte II CE-1300. O catalizador utilizado é do tipo Trietilamina (TEA). Tanto as resinas como o catalizador, conforme indicações da embalagem do fabricante, são consideradas como produtos perigosos, inflamáveis e corrosivos, por isso classe I.

Após a moldagem, os moldes foram empilhados formando uma árvore. Na camada superior, foi colocado um funil de areia para facilitar o vazamento do metal líquido. Para evitar que os moldes abram devido à pressão metalostática, eles foram fixados com um dispositivo apropriado, o qual é composto por bandeja de aço inferior, dois tirantes laterais e uma tampa de aço superior. Finalizada essa etapa, o conjunto foi encaminhado ao setor de vazamento. A Figura 20 apresenta como é feita a montagem e a fixação dos moldes.

FIGURA 20- Moldes de areia empilhados sistema em árvore



Fonte: o autor (2015)

### 3.5 FUSÃO DOS MOLDES

Para obtenção do metal líquido, foi utilizado um forno de fusão com capacidade de uma tonelada marca *Inductotherm*. A matéria prima utilizada foi em grande parte sucata de aço e ferro gusa. Após a obtenção do metal líquido, ele foi transferido para uma panela de vazamento com capacidade de 350 kg que, por sua vez, foi vazado dentro dos moldes de areia. Na sequência, as imagens, conforme Figura 21, representam o forno de fusão, onde a matéria prima utilizada está sendo fundida, e a transferência do metal líquido para a panela de vazamento. Por fim, percebe-se o vazamento do metal líquido.

FIGURA 21- Sequência do processo de fusão



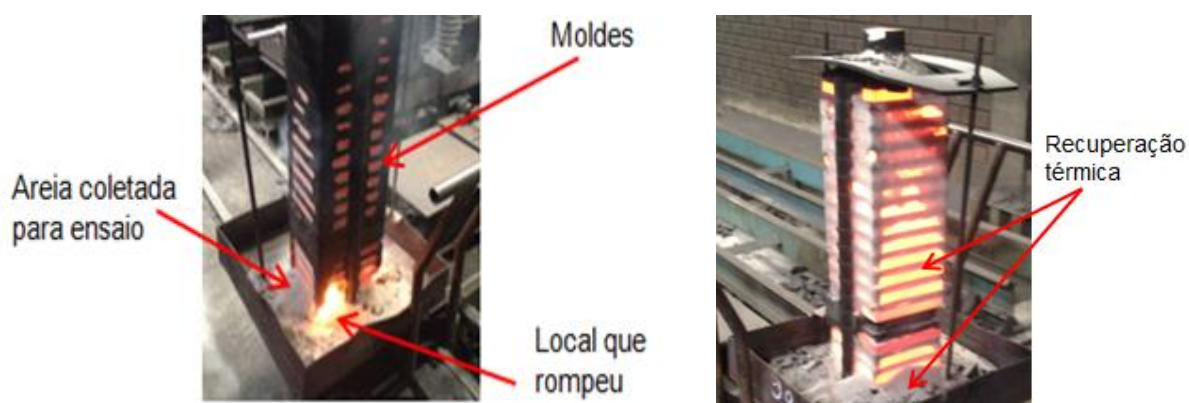
Fonte: o autor (2015)

### 3.6 RESFRIAMENTO DOS MOLDES

A etapa seguinte foi deixar a árvore de peças fundidas no setor de resfriamento, conforme Figura 22, onde foi possível verificar o processo de queima

das resinas e o local onde o molde rompeu. Esse rompimento não é um padrão, mas acontece em função do experimento que está sendo verificado. Logo após essa etapa, foi realizada a coleta de uma amostra da areia para o ensaio de perda ao fogo. Também fica evidente a abrangência da recuperação térmica sobre os moldes que constituem a árvore de peças.

FIGURA 22- Resfriamento e recuperação térmica após a fusão



Fonte: o autor (2015)

Foram anotados também os valores correspondentes à altura que o metal atingiu durante o vazamento até o momento que os moldes rompessem ou suportassem a massa de metal e a altura de vazamento a qual estavam sendo expostos. Conforme Tabela 3, seguem os valores obtidos das amostras, referente à altura de vazamento e da massa de metal.

Tabela 3- Altura de vazamento para os moldes analisados

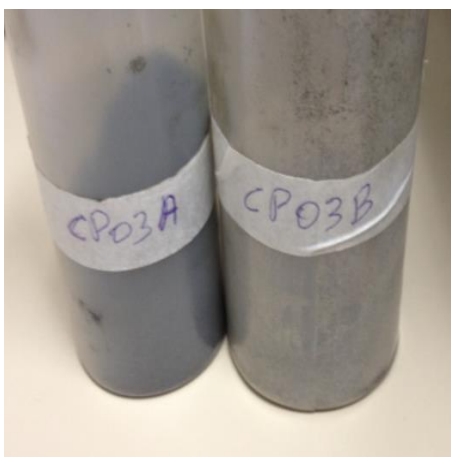
Amostra	Espessura (mm)	Altura de vazamento (mm)	Massa de metal (kg)
CP01	13	388	37,8
CP02	14,5	446	44,1
CP03	16	514	49,2
CP04	17,5	602	54,6
CP05	19	740	64,2

Fonte: o autor (2015)

### 3.7 COLETA DAS AMOSTRAS

Para todos os testes realizados na fundição, foram coletadas as areias do início do processo, ou seja, no momento da moldagem e no final, entre dez e quinze minutos após o vazamento, quando os moldes já estavam no setor de resfriamento. As amostras foram armazenadas em potes plásticos e identificadas como corpo de prova, seguidas do número da amostra e da letra correspondente ao tipo de areia correspondente à areia do início da moldagem (CPO1A) e à areia que já sofreu o processo de queima das resinas e se encontrava na parte inferior da bandeja (CP01B). A Figura 23 representa as amostras de areia armazenadas em potes plásticos.

FIGURA 23- Amostra de areia



Fonte: o autor (2015)

### 3.8 LABORATÓRIO DE ANÁLISE

A análise de perda ao fogo das amostras de areias foi realizada nas dependências do laboratório do IFSC-GW sendo que os equipamentos utilizados e os procedimentos serão descritos na sequência.

Para possibilitar a pesagem das amostras e sua colocação no forno de calcinação, foram utilizados cadinhos de cerâmica. Elas foram inicialmente colocadas em uma estufa de secagem e esterilização, da marca Solab - SL 100, a uma temperatura de 120°C, por um período de quatro horas e trinta minutos, para garantir que a umidade nelas contida fosse eliminada. A Figura 24 representa os cadinhos de cerâmicas e o estufa de secagem utilizadas no experimento.

FIGURA 24- Cadinhos de cerâmica e estufa de secagem



Fonte: o autor (2015)

Na sequência, conforme Figura 25, foi utilizada uma balança analítica da marca Shimadzu AUX 220, com capacidade de medição de até 220g, com uma resolução de leitura de 0.1mg. Os cadinhos foram pesados primeiramente vazios. Logo após, foi feita a leitura correspondente e, em seguida, eles foram carregados com as areias dos corpos de provas das amostras tipo A e B e pesados novamente. Obteve-se, assim, a massa total dos cadinhos mais a areia.

FIGURA 25- Balança analítica



Fonte: o autor (2015)

Por último, conforme Figura 26, foi utilizado um forno tipo mufla para calcinação das amostras. Nele as amostras previamente pesadas foram colocadas no seu interior a uma temperatura entre 950 a 960°C, por um período de 3 horas, sendo que 1 hora transcorreu do início do aquecimento até a entrada em regime

nominal de temperatura. Após a calcinação, a massa do conjunto foi novamente verificada e registrada para, posteriormente, ser utilizada no cálculo do índice de perda ao fogo.

FIGURA 26- Forno tipo mufla



Fonte: o autor (2015)

### 3.9 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental foi elaborado seguindo três principais etapas:

- Usinagem do modelo para cada espessura previamente definida;
- Processo de moldagem e fusão do componente e coleta de areia para ensaios;
- Realização dos ensaios de perda ao fogo.

#### 3.9.1 Usinagem do modelo para cada espessura previamente definida

O procedimento descrito foi repetido cinco vezes, sendo que a espessura inicial da parede do molde foi definida em 13 milímetros (mm). Essa dimensão foi estabelecida porque tecnicamente era a menor dimensão possível a ser usinada no modelo permitindo, ao mesmo tempo, um bom enchimento e adensamento do molde de areia. A espessura da parede do molde considerada para medição foi da parte externa do molde até a cavidade da peça, a qual será preenchida com o metal líquido.

Portanto, como a espessura do molde foi a principal variável a ser estudada, o número de usinagens necessárias foi baseada na resistência do conjunto durante o vazamento. A resistência refere-se à pressão metalostática que o

metal líquido exerce sobre as paredes do molde, ou seja, a partir da dimensão usinada em que não mais se verificou o rompimento do molde anterior à solidificação do metal. Essa foi considerada como ponto (espessura) limite de areia para aquela configuração específica de montagem. Para o incremento na espessura do molde foi adotado 1,5 mm como padrão para a usinagem do modelo. Abaixo, segue a Tabela 4 com os valores de espessura e massa do molde correspondente a cada amostra.

Tabela 4- Variáveis do procedimento experimental

<b>Amostra</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa do molde (kg)</b>
<b>CP01</b>	13	2,817
<b>CP02</b>	14,5	2,908
<b>CP03</b>	16	2,991
<b>CP04</b>	17,5	3,097
<b>CP05</b>	19	3,215

Fonte: o autor (2015)

### **3.9.2 Processo de moldagem e fusão do componente e coleta de areia para ensaios**

Com relação à moldagem, todas as amostras seguiram os mesmos procedimentos com dados como valores de quantidade de resina parte I, parte II e de catalisador, o tempo de gasagem, o tempo de lavagem e o tempo total de trabalho foram todos configurados na máquina sopradora. O tempo de sopro foi estabelecido em 1 segundo. A areia utilizada foi a que estava em processo na fundição, ou seja, recuperada. Somente uma amostra (CP04) foi feita com areia nova a título de comparação, uma vez que a areia nova é normalmente inserida de forma diluída. A quantidade de resina utilizada foi estabelecida em 1,2 kg para cada 100 kg de areia, sendo 50% parte I e 50% parte II. Para o catalisador foi utilizada uma quantidade de 3 ml para cada sopro. A seguir, conforme a Tabela 5, são apresentados os dados configurados na máquina sopradora.



Tabela 5- Dados de operação da sopradora

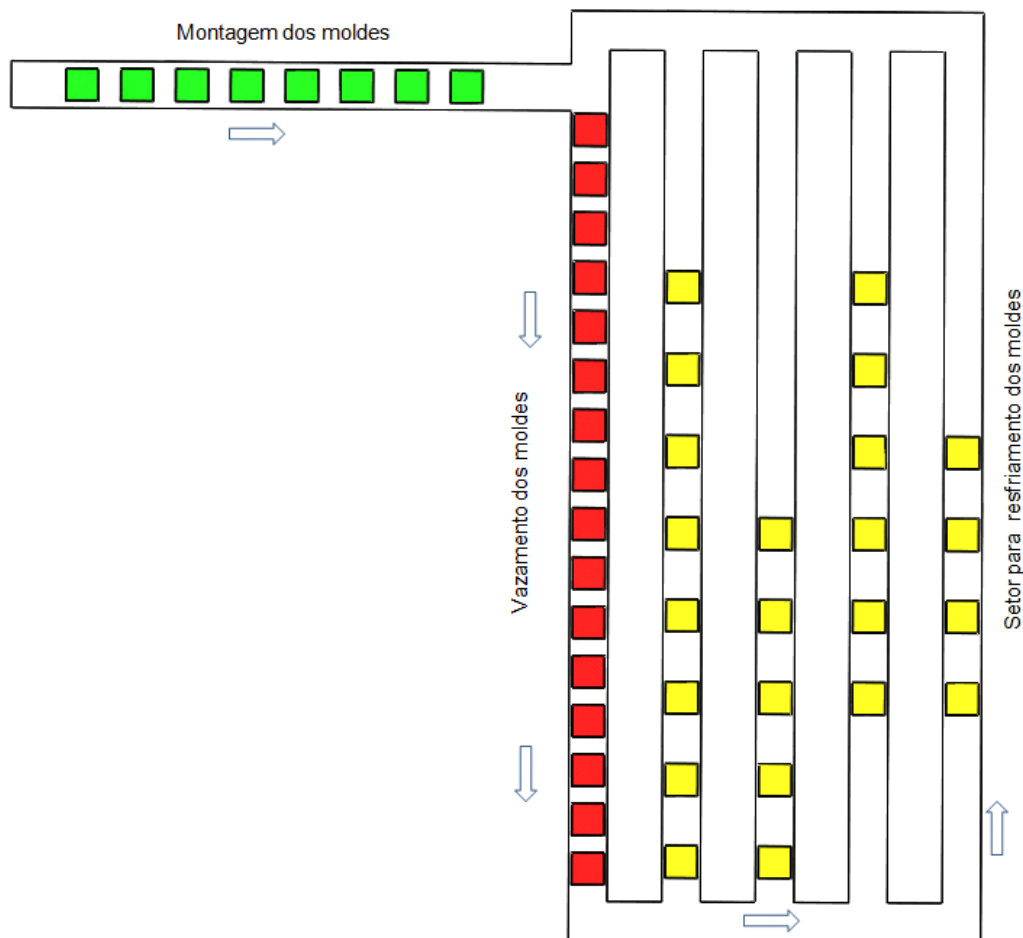
<b>Amostra</b>	<b>Massa do molde (kg)</b>	<b>Quantidade Resinas (g)</b>	<b>Tempo de Gasagem (S)</b>	<b>Tempo de Lavagem (S)</b>	<b>Tempo de Ciclo Total (S)</b>
<b>CP01</b>	<b>2,817</b>	<b>0,03388</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>34</b>
<b>CP02</b>	<b>2,908</b>	<b>0,0349</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>34</b>
<b>CP03</b>	<b>2,991</b>	<b>0,0358</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>34</b>
<b>CP04</b>	<b>3,097</b>	<b>0,0370</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>34</b>
<b>CP05</b>	<b>3,215</b>	<b>0,0382</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>34</b>

Fonte: o autor (2015)

A quantidade de camadas de moldes empilhadas formando uma árvore foi fixada em 15, além da tampa onde fica alojado o funil de vazamento. Essa quantidade de camadas foi definida tendo como base o dispositivo de fixação com limite de 800 mm de altura. Também foi respeitada a altura de trabalho do vazador. O vazamento de todas as amostras foi feito a uma temperatura entre 1535 e 1540°C. Nessa etapa foi verificado visualmente o local de rompimento dos moldes.

Para o processo de montagem vertical do conjunto de moldes em árvore, o espaço ocupado pela bandeja é de 600x600 mm, um diferencial significativo se comparado ao processo de moldagem e vazamento com moldes distribuídos horizontalmente, o qual utiliza caixas de moldar com dimensão de 400x400 mm. Para efeito de comparação, após a montagem os conjuntos foram deslocados para o setor de vazamento sobre uma linha com 15 metros de comprimento, sendo que o espaçamento entre bandeja é de 300 mm e entre caixa de moldar, 200 mm. A seguir, conforme a Figura 27, podemos observar o *layout* da linha utilizada com a distribuição dos moldes, tendo início na montagem das árvores logo após a moldagem, seguindo para o setor de vazamento e posteriormente para o resfriamento.

Figura 27- Layout da linha de produção



Fonte: o autor (2015)

### 3.9.3 Realização dos ensaios de perda ao fogo

O procedimento para teste de perda ao fogo foi feito uma vez para cada corpo de prova, para a amostra A e amostra B. Havia disponibilidade de cinco cadinhos de cerâmica com diferentes capacidades de armazenamento. Os cadinhos, após serem retirados da estufa de secagem, foram devidamente pesados e preenchidos com uma camada de areia. Os valores correspondentes da massa do cadinho e da massa inicial e final da amostra foram devidamente anotados. Os testes foram feitos a uma temperatura de 950°C por um período de 3 horas.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste tópico são apresentadas as análises realizadas a partir dos dados coletados e apresentados anteriormente. Com base nos resultados obtidos através do cálculo da relação areia metal, conforme indicado na Tabela 6, observa-se que mesmo aumentando a espessura da parede, a quantidade de areia ainda é menor do que a quantidade de metal. Supõe-se que essa condição é obtida em virtude, principalmente, da geometria da peça. Em geral, na maioria dos projetos de modelo, a quantidade de areia é maior que a do metal, onde relações 2:1 e 3:1 são consideradas ótimas. A Tabela 6 demonstra a relação do peso total da areia em relação ao peso total de metal, ou seja, a soma das peças mais o canal de alimentação, distribuição e ataque.

Tabela 6- Relação areia - metal

<b>Amostra</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa do molde (kg)</b>	<b>Massa conj. molde (kg)</b>	<b>Massa teórica do metal (kg)</b>	<b>Relação</b>
<b>CP01</b>	<b>13</b>	<b>2,817</b>	<b>46,955</b>	<b>64,050</b>	<b>0,73</b>
<b>CP02</b>	<b>14,5</b>	<b>2,908</b>	<b>48,508</b>	<b>64,050</b>	<b>0,76</b>
<b>CP03</b>	<b>16</b>	<b>2,991</b>	<b>49,656</b>	<b>64,050</b>	<b>0,77</b>
<b>CP04</b>	<b>17,5</b>	<b>3,097</b>	<b>51,552</b>	<b>64,050</b>	<b>0,80</b>
<b>CP05</b>	<b>19</b>	<b>3,215</b>	<b>53,44</b>	<b>64,050</b>	<b>0,83</b>

Fonte: o autor (2015)

D'elboux (2000) cita que a qualidade da areia a ser recuperada é melhor à medida que o volume ou espessuras de areia envolvendo a peça fundida é menor. A Tabela 7 faz um comparativo entre a espessura da amostra CP05 e de uma média de espessuras utilizada normalmente em projetos da empresa, na qual foram realizados os testes.

Tabela 7- Comparativo entre espessura da amostra e de projetos anteriores

Descrição	Espessura (mm)	Massa do molde (kg)	Massa do conj. de moldes (kg)
Projetos anteriores	24	3,532	58,512
CP05	19	3,215	53,440
Diferença total em Porcentagem			9,5%

Fonte: o autor (2015)

Ainda para efeito de comparação, conforme dados fornecidos pela empresa, podemos observar a importância de reduzir o consumo de areia já na concepção do projeto. Essa informação fica evidente se olharmos a quantidade de areia descartada mensalmente e o custo que isso acarreta. Cabe salientar que parte do descarte se faz necessário uma vez que o sistema precisa repor entre 5 a 10% de areia nova constantemente, mantendo assim sua qualidade.

É importante enfatizar também que, apesar dos produtos utilizados como aglomerantes na moldagem serem considerados separadamente como perigosos, inflamáveis e corrosivos, sendo classificados como (classe I), quando expostos ao calor do metal, grande parte é eliminada no processo. Portanto, essas areias descartadas são consideradas resíduos de fundição Classe II, conforme certificado de destinação final de resíduos industriais fornecidos pela empresa Catarinense Engenharia Ambiental (Anexo B). Na sequência, conforme Tabela 8, seguem os dados da quantidade em toneladas de areia (resíduo) descartadas mensalmente pela empresa, em comparação com o custo para aquisição da areia nova.

Tabela 8- Custo para descarte e aquisição de areia nova

Descrição	Consumo (t)	Custo por (t)	Transporte (t)	Total
Areia descarte	20	R\$147,00	R\$33,00	R\$3.600,00
Areia nova	20	R\$70,00	Incluso	R\$1.400,00

Fonte: o autor (2015)

Numa avaliação de produtividade por área ocupada, é possível observar o quanto é significativo o processo de produção em árvore. Na Tabela 9 observa-se a quantidade de peças produzidas pelo processo em árvore feito verticalmente e pelo processo convencional feito horizontalmente. É preciso observar que cada molde produz duas peças ao mesmo tempo para ambos os casos.

Tabela 9- Comparativo de produção por área ocupada

<b>Itens</b>	<b>Árvore (vertical)</b>	<b>Convencional (horizontal)</b>
<b>Dimensão</b>	<b>Bandeja 600x600mm</b>	<b>Caixa de Moldar 400x400</b>
<b>Nº de bandeja e caixa</b>	<b>16</b>	<b>23</b>
<b>Nº de moldes</b>	<b>15 x 2 = 30 peças</b>	<b>1 x 2 = 2 peças</b>
<b>Total de peças</b>	<b>480</b>	<b>46</b>

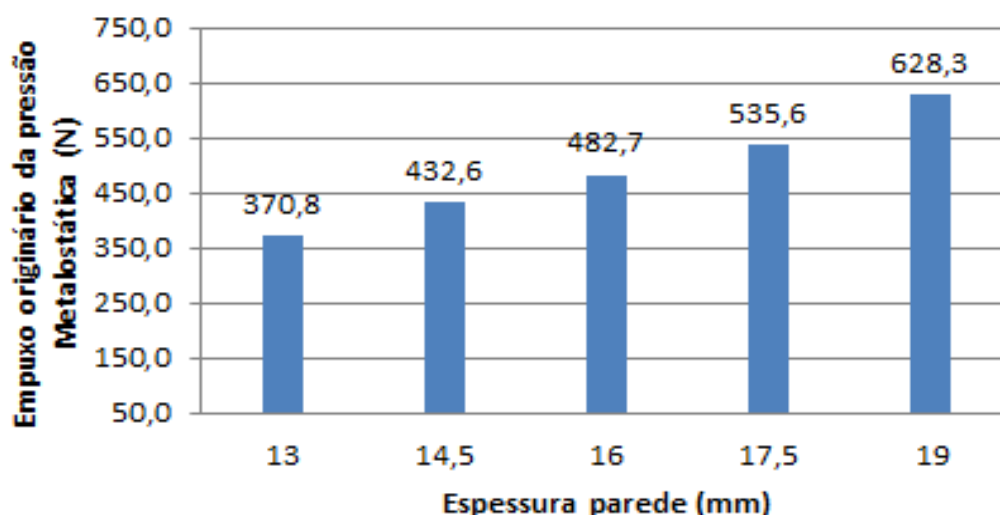
Fonte: o autor (2015)

Se for considerada a quantidade produzida em 15 metros lineares, há 480 peças para o processo em árvore, enquanto que para o processo convencional, somente 46 peças. No processo em árvore, conforme citado por Braga, Silva e Alves (2005) quanto às vantagens de produtividade, é preciso também destacar os tempos menores para a montagem e preparação dos moldes para posterior fusão. Enquanto que no processo em árvore há somente um funil de vazamento e um dispositivo para fechamento de um conjunto de moldes, no processo convencional precisa-se de um funil e um sistema de fechamento para cada molde.

Na análise visual, quanto ao rompimento do conjunto devido à pressão metalostática, conforme Figura 22, observa-se que para a quantidade de peças empilhadas, a dimensão do canal de descida projetada e a temperatura de vazamento realizada, ou seja, específico para esta condição de montagem, não foi possível obter paredes inferiores a 19 mm. Dessa forma, a espessura de 19 mm foi considerada como ideal. Também observa-se, na Figura 22, a proporção de areia recuperada em função do calor gerado pelo metal, sendo que praticamente toda a areia envolta nas peças se dissolveu, ficando retida no fundo da bandeja. Na Figura

28 podemos observar a pressão metalostática aplicada ao conjunto de moldes que cada amostra suportou.

Figura 28- Gráfico de pressão metalostática



Fonte: o autor (2015)

Quanto ao teste de perda ao fogo, conforme Tabela 10, foi possível observar que para todos os corpos de provas, as amostras A, a porcentagem de perda ao fogo mostrou-se mais elevada. Já para a amostra B, após a calcinação, todas tiveram o comportamento esperado, ou seja, mostraram-se inferiores à amostra A. Porém, a porcentagem maior de perda ao fogo, conforme a espessura da parede aumentava, não se mostrou proporcional. Dessa forma, é possível supor que isso possa ter ocorrido devido ao processo de coleta da areia. Embora a areia tenha sido coletada sempre na base da bandeja, conforme Figura 22, nem sempre foi feita em tempos iguais. No entanto, a areia depositada nesse local, proveniente do desmoronamento das paredes do molde influenciada pela queima das resinas em algumas amostras pode ter tido contato mais próximo do metal em comparação a outras amostras. Outro ponto importante a ser mencionado é que conforme a espessura da parede do molde aumentava, a quantidade de metal que ele absorvia antes de romper era cada vez maior. Sendo assim, a quantidade de areia que sofria o processo de queima também era maior.

Conforme citado por Conrad (1991), a porcentagem máxima de perda ao fogo para as areias aglomeradas quimicamente, sem comprometer a qualidade do

fundido, é de no máximo 3%. Nesse sentido, constata-se através do teste de perda ao fogo, conforme Tabela 10, a qualidade da areia em processo e a eficiência da recuperação térmica que o processo de fusão em árvore propicia. É preciso destacar que todas as amostras tiveram valores abaixo do mencionado pelo autor.

A Tabela 10 também evidencia que quando os moldes são feitos com areia nova a diferença de perda ao fogo da amostra A para a amostra B permanece próxima, possivelmente porque a quantidade de resina impregnada nos grãos de areia também é menor.

Tabela 10- Perda ao fogo

<b>Amostra</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Massa do cadinho (g)</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final (g)</b>	<b>% Perda</b>
CP01A	13	11,762	23,743	23,475	1,129
CP01B	13	8,995	24,035	23,997	0,158
CP02A	14,5	9,815	23,088	22,904	0,797
CP02B	14,5	75,24	86,275	85,985	0,336
CP03A	16	9,817	21,010	20,722	1,371
CP03B	16	11,764	25,874	25,859	0,058
CP04A	17,5	8,994	21,613	21,305	1,425
CP04B	17,5	75,225	90,369	90,310	0,065
CP05A	19	8,994	21,615	21,301	1,453
CP05B	19	75,223	90,775	90,706	0,076
CP04A Areia Nova	16	9,817	25,563	25,407	0,610
CP04B Areia Nova	16	11,765	26,000	25,932	0,262

Fonte: o autor (2015)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um bom planejamento e desenvolvimento de projetos de modelos propiciam às empresas metalúrgicas, itens com qualidade e com a menor utilização de recursos naturais, gerando dessa forma o menor impacto possível ao meio ambiente. Existem ainda determinações legais que obrigam a uma diminuição das quantidades a serem descartadas e dispostas em aterros industriais, cujos custos para a disposição vêm aumentando continuamente. Portanto, é evidente que a recuperação da areia é um fator importante, e será exigido cada vez mais no futuro, em função dos custos e do impacto ambiental gerado. Salienta-se a importância deste trabalho quanto à busca por parâmetros que auxiliem projetistas, dando-lhes mais garantia e confiabilidade aos projetos de modelos a serem desenvolvidos.

Acompanhando o comportamento dos moldes no monitoramento e coleta de dados, pôde-se perceber que a espessura de parede é um fator importante a ser levado em consideração pelos projetistas. Somente nessa questão conseguem-se consideráveis reduções no consumo de areia, e também uma excelente qualidade da areia em função de sua recuperação térmica. Foi possível obter, dessa maneira, uma espessura de parede menor que a média normalmente utilizada nos projetos da empresa, conforme amostra CP05.

Neste trabalho, foi estudada também a relação de espessura com o percentual de perda ao fogo por uma coleta de dados, sendo que esse percentual está diretamente relacionado ao nível de recuperação térmica que a areia sofre durante e após a fusão. Portanto, cabe destacar que como a fusão é inerente ao processo, não são necessários investimentos extras para recuperar a areia termicamente. Assim, constatou-se que as areias utilizadas estavam dentro de padrões de qualidade aceitáveis, e que em algumas amostras a qualidade da areia recuperada mostrou-se através do teste de perda ao fogo superior à areia nova (amostra CP04).

Também constatou-se que o processo de moldagem em árvore utilizado com areia *Cold Box*, quando empregado em conjunto com modelos em dupla face, é realmente eficaz, resultando em alta produtividade por metro quadrado, em *layout* enxuto em menor tempo de produção, conseqüentemente resultando em vantagens econômicas para a indústria de fundição.



Por fim, este trabalho atinge o seu objetivo ao apontar de forma precisa que é possível minimizar o consumo de matéria prima já nas etapas de desenvolvimento - e que os ganhos podem ser significativos. Um fator importante a ser citado é que muitos dos ganhos mencionados dependem diretamente do tipo de peça (geometria) a ser produzida e do tipo de material a ser fundido. Portanto, deixa-se aqui a proposta para a continuidade do trabalho, visto que, além das informações descritas, existem outros fatores que influenciam na determinação da espessura de parede, na produtividade, na resistência dos moldes e, conseqüentemente, na geração de resíduos industriais.

## REFERÊNCIAS

ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: Associação Brasileira de Fundição, p.1-49, 1999.

\_\_\_\_\_. **Anuário ABIFA 2014**. Guia Abifa de fundição. p.22-24.

ADEGAS, Roseane Gonçalves. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam apenas areias no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) N° 120: **Materiais para fundição – Determinação da Perda ao Fogo**. ABIFA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BRAGA, Wendel; SILVA, Carlos Augusto da; ALVES, Luiz Henrique Dias. **Stack molding: uma solução para melhoria de qualidade e produtividade na produção de peças de pequeno porte e grandes séries fundidas em moldes de areia**. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, São Paulo, v. 1, n. 4, p.22-25, jun. 2005. Trimestral. Disponível em: <<http://tecnologiammm.com.br>>. Acesso em: 01dez. 2014.

BROWN, J.R.; **Foseco Ferrous Foundryman's Handbook**. Oxford, 2000.

CAMPOS FILHO, M. P. de. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CASTRO, C.A.G.D. **A Produção de Areia Base para Fundição e o Meio Ambiente**. In: CONAF, São Paulo, 2001. Anais... Abifa. p.1 - 18.

CONRAD, Ralph. **Recuperação de Areias em Fundições (Turbomix)**. Congresso Nacional de Fundição. São Paulo, v. 20, p. 5, Set. 1991.

COUTINHO NETO, Bendito. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004. 271 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transporte, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**. Vol. II, 2ª ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição**: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.

D'ELBOUX, Francisco Augusto. **Minimização de descarte de areias de fundição**. 2000. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'oeste, 2000.

DIN 8580 – Fertingunsverfahren. Berlin: Beuth Verlag, 1985.

FS: **FUNDIÇÃO E SERVIÇOS**. São Paulo: Aranda Editora, v. 259, jul. 2014. Mensal.

GERLING, Heinrich. **Moldagem e Conformação**. Barcelona: Reverté, 1982. 123 p. (VIII).

GEVITEC: **CATÁLOGOS. 2015**. Gevitec - Mecânica Industrial LTDA. Disponível em: <<http://www.gevitec.com.br>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

GIANNINI, A. R. (1995). **Resinas sintéticas para aglomeração de areia**. Mineração e Metalurgia.

GARNAR JR, T.E. **Mineralogy of Foundry Sands and its Effects on Performance and Properties**. American Foundrymen's Society Transactions, v.85, p.399-416, 1977.

JUNDU: **Areia Industrial para Fundição**. 2015. Mineração Jundu. Disponível em: <mjundu.com.br>. Acesso em: 20 jun. 2015.

KIMINAMI, Claudio Shyinti; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2013. 235 p.

KONDIC V.. **Princípios Metalúrgicos da Fundição**. São Paulo: Polígono (USP), 1973. 340 p.

LAUTH, Victor Rafael. **Relatório de estágio curricular I: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO - CTC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**. Florianópolis: 2009. 25 p.

LOPES, Marcelo de Oliveira. **Relatório de estágio curricular I: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO - CTC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**. Florianópolis: 2010. 33 p.

LOPER, J.R.; CARL, R. **Cast irons – Essential alloys for the future**. In: LXV Congresso Mundial de Fundição, Coreia do Sul, out. 2002. Foundryman, v. 96, parte 11, nov. 2003.

MARIOTTO, L.C. **Areias de moldagem aglomeradas com argila (Tecnologia Básica)**. Notas de aula para o curso “Preparo e utilização de areias de moldagem”. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., p.30-72, 1978.

\_\_\_\_\_; BONIN, A.L. **Tratamento dos descartes de areia**. Revista Fundição e Matérias-Primas. Mar/abr. 1996.p.28-32.

\_\_\_\_\_. **Regeneração de Areias: Uma Tentativa de Discussão Sistemática**. Fundição e Matérias-Primas. Caderno Técnico, n. 42,v. 33, 2000.

MARINO, R. **Utilização de areia de fundição em concreto**. Projeto premiado pela Bayer “Prêmio de Meio Ambiente”. USP, 2003.

MASTELLA, Miguel Angelo. **Avaliação mecânica e toxicológica de pavimentos de concreto contendo resíduo de areia de fundição**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2013.

MODERN CASTING, 47<sup>o</sup> **Census of World Casting Production**, EUA, 2013

MONTECELLI, C. A. **A competitividade da indústria brasileira de fundição**. 1994. Dissertação – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.

OLIVEIRA, Thereza M. N. **Eco-Estratégia Empresarial no setor Metal-Mecânico da Escola Técnica Tupy**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

ROSSITTI, S. M. **Processos e variáveis de fundição**. Grupo Metal, maio de 1993.

RIBEIRO, R.A.C. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos**. Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SOARES, Gloria de Almeida. **FUNDIÇÃO: Mercado, Processos e Metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2000. 116 p.

SIEGEL, M. **Fundição - ABM** (Associação Brasileira de Metais). São Paulo, 1979.

SILVA, T.C.D. **Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição**. 2007. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, Jaques Jonas Santos. **Apostila de Processos de Fabricação III - Fundição**. Rio de Janeiro: UERJ, 2009. 49 p.

SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de areia de fundição através de Tratamento Químico via Processo Fenton**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

THIEL, J; **Thermal Expansion of Chemically Bonded Sands**. Transactions of Foundry American Society, v.116, p.369-377, 2011.


TORRE, Jorge. **Manual prático de fundição: E ELEMENTOS DE PREVENÇÃO DA CORROSÃO**. Brasil: Hemus Livraria Distribuidora e Editora, 2004. 244 p.

VENTISTAMP: **Respiros para processo de areia**. 2015. Grupo Ventistamp. Disponível em: <[www.ventistamp.com.br](http://www.ventistamp.com.br)>. Acesso em: 26 abr. 2015.

VERRAN, Guilherme Ourique. **Estudo de alimentação de peças fundidas em ligas de alumínio**. 1986. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Engenharia Metalúrgica, UFGRS, Porto Alegre, 1986.

WEINFURTER, Antonio. **Tecnologias dos processos de macharia**. Escola Técnica Tupy- Curso de Metalurgia, Joinville, 1990.

## ANEXO A – CERTIFICADO DE ANÁLISES

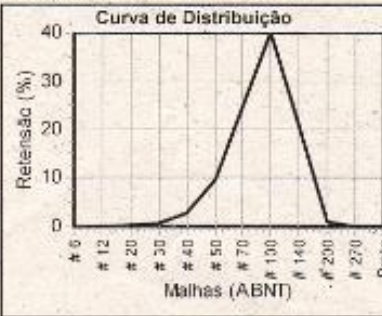


**Certificado  
de Analises**

**Teste nº:  
65297**

Rod. BR 101 - Km 55, ao lado - Araquari-SC - CEP 89245-000 - Fone: (47) 3452-0245

Peso inicial (g): <b>50,00</b>	Argila AFS (AFS): <b>0,22</b>	Modulo de Finura (AFS): <b>67,63</b>
Peso final (g): <b>50,00</b>	Teor de Finos (%): <b>1,20</b>	Umidade (%): <b>&lt; 0,10</b>
Coef. de Distribuição (%): <b>85,09</b>	pH: <b>6,95</b>	VDA (ml): <b>4,2</b>
Teor de SiO <sub>2</sub> (%): <b>&gt; 99</b>		



**Curva de Distribuição**

ABNT	Peso (g)	Retensão (%)	Coefficiente	Produto
# 6	0,00	0,00	3	0,00
# 12	0,00	0,00	5	0,00
# 20	0,12	0,24	10	2,40
# 30	0,42	0,84	20	16,80
# 40	1,41	2,82	30	84,60
# 50	4,90	9,80	40	392,00
# 70	12,11	24,22	50	1.211,00
# 100	20,00	40,00	70	2.800,00
# 140	10,44	20,88	100	2.088,00
# 200	0,60	1,20	140	168,00
# 270	0,00	0,00	200	0,00
Prato	0,00	0,00	300	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>50,00</b>	<b>100,00</b>		<b>6.762,00</b>

Emissão: **20/05/2015**

Nº Nota Fiscal: **32907**

Empresa Solicitante: **NOVA FUNDICAO E COMERCIO DE METAIS LTDA**

Observações: Lote 02/05 - 65/72

Supervisor: **Nilson Pereira Junior**  
Técnico Metalúrgico  
CRQ 13401696-13ª. Reg.

Analista: **Gilmar Meurer**

Preserve a natureza. Utilize papel reciclado.

## ANEXO B – LAUDO AMBIENTAL

 <b>essencis</b>		<b>CERTIFICADO DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS - CDF</b>		Número/Via 035529.10/01	
<b>GERADOR</b>					
EMPRESA:	NOVA FUNDAÇÃO E COMERCIO DE METAIS			CEP:	89239-250
ENDEREÇO:	EST DA ILHA 285			MUNICÍPIO:	JOINVILLE
BAIRRO:	PIRABEIRABA	MUNICÍPIO:	JOINVILLE	UF:	SC
CNPJ:	06.705.818/0001-11	IE:	255378696		
<b>UNIDADE DE DESTINO</b>					
EMPRESA:	CATARINENSE ENGENHARIA AMBIENTAL S/A MATRIZ			CEP:	89239-290
ENDEREÇO:	Rua dos Bororos, 875			MUNICÍPIO:	Joinvile
BAIRRO:	Distrito Industrial	MUNICÍPIO:	Joinvile	UF:	SC
CNPJ:	03.720.956/0001-56	IE:	ISENTA		
<b>RESÍDUO INDUSTRIAL</b>					
DENOMINAÇÃO:	RESÍDUO DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO CLASSE II				
QTD:	14,570 TON				
PERÍODO RECEBIMENTO:	11.05.15-15.05.15 CLASSE: Aterro Classe II				
NF:	7904;7905				
MTR:					
<b>OBSERVAÇÕES:</b>					
Este certificado atesta o recebimento definitivo do resíduo nele relacionado para fins de destinação final nos termos do acordado entre as partes e legislação vigente e será válido apenas com o comprovante de pagamento.					
DATA	 responsável técnico			 <b>essencis</b> SELO DE AUTENTICIDADE	
19.05.2015	<b>Mauricio Basso</b> Engº. Sanitarista e Ambiental CREA SC-106771-2				