

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CARLA SOUZA ARRUDA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO E FICHA DE ALERTA DE  
QUALIDADE**

LAGES

2018

CARLA SOUZA ARRUDA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO E FICHA DE ALERTA DE  
QUALIDADE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor orientador: Ailton Leonel Balduino.

LAGES

2018

CARLA SOUZA ARRUDA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO E FICHA DE ALERTA DE  
QUALIDADE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor orientador: MSc Ailton Leonel Balduino

Lages, SC \_\_\_\_/\_\_\_\_/2018. Nota: \_\_\_\_\_

Professor Orientador MSc Ailton Leonel  
Balduino

---

PROF. DR. RODRIGO BOTAN

LAGES  
2018

**LISTA DE TABELAS**

Índice de refugo do mês de setembro.....	33
Índice de retrabalho do mês de setembro.....	33
Índice de refugo do mês de outubro.....	36
Índice de retrabalho do mês de outubro.....	37
Índice de refugo do mês de novembro.....	39
Índice de retrabalho do Mês de novembro.....	41
Ficha de alerta de qualidade.....	42
Ficha de alerta de qualidade.....	44
Ficha de alerta de qualidade.....	46

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Esquema de armazenagem e transporte de areia.....	07
Imagem 2: Modelo da peça “colar”, parte superior.....	10
Imagem 3: Modelo da peça “colar”, parte inferior.....	11
Imagem 4: Massalote ou Luva exotérmica.....	11
Imagem 5: Looping Pep Set.....	12
Imagem 6: Máquina de moldagem Vick GC100.....	14
Imagem 7: Máquina de moldagem Vick GC 100 (inversor).....	14
Imagem 8: Máquina de moldagem Vick GC 100 (Furação de canais).....	15
Imagem 9: Máquina de moldagem Vick GC100 fechamento do molde.....	15
Imagem 10: Máquina “sopradora de macho” “cold box”.....	17
Imagem 11: Machos para fabricação de buchas.....	17
Imagem 12: Forno a Indução Inductoheat.....	19
Imagem 13: forno a indução Inductoheat.....	19
Imagem 14: Desmoldagem.....	21
Imagem 15: Gancheira Rotomaq do Brasil.....	22
Imagem 16: Trabalhador retirando massalote usando oxicorte.....	23
Imagem 17: Metalografia ferro fundido nodular.....	27
Imagem 18: Metalografia ferro fundido cinzento.....	28

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2. O PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido..03</b>
2.1. Sistema de armazenamento e transporte de areia.....	03
2.2. Areias.....	07
2.3. Modelação.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.09</b>	
2.4. Moldagem Pep Set.....	11
2.5. Moldagem na máquina Vick GC100.....	13
2.6. Macharia.....	16
2.7 Fusão.....	18
2.8 Vazamento.....	20
2.9 Desmoldagem.....	20
2.10 Acabamento.....	21
<b>3. LIGAS PRODUZIDAS NO SETOR.....</b>	<b>23</b>
<b>4. ANÁLISES DE AREIA E METALOGRAFICAS.....</b>	<b>25</b>
4.1 Análises em areias.....	25
4.2 Análises metalográficas.....	26
<b>5. O PROBLEMA ABORDADO.....</b>	<b>28</b>
5.1 - Resultados.....	29
5.2 - Defeitos de fundição.....	29
<b>6- CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## **ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA FICHA DE ALERTA DE QUALIDADE**

**Carla Souza Arruda<sup>1</sup>**

**Msc Ailton Leonel Balduino Junior<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

O trabalho apresentará o processo de fundição da empresa Minusa indústrias mecânicas S.A, situada na cidade de Lages. É apresentado o funcionamento dos principais equipamentos utilizados na fundição das peças (transportadora e armazenadora de areia, máquina de moldar automática Vick GC 100, máquina sopradora de machos Cold Box e o processo de moldagem semi-automática Pep Set). Também é abordado o processo de fusão e vazamento, o processo de acabamento e as análises feitas nas areias, composição química do metal fundido e metalografia. O problema abordado no trabalho é a superlotação do setor de acabamento, que acaba fazendo mais recuperação de peças do que o acabamento. Na tentativa de resolver este problema, foi elaborado a ficha de alerta de qualidade que contém imagem dos principais defeitos de fundição e qual sua causa. Essa ficha foi elaborada de acordo com os defeitos em peças mais recorrentes na fábrica, e distribuída aos funcionários do acabamento, para que eles tenham conhecimento sobre estes defeitos e possam interferir no processo de fundição. Os resultados esperados não foram atingidos, e isso pode ser atribuído pelo pouco tempo de implementação da ficha. Mas apesar disso, os funcionários do setor do acabamento detém este conhecimento, o que se dúvidas é um benefício para a empresa.

Palavras-Chave: Fundição. Defeitos. Processos.

## **ANÁLISE DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO E IMPLANTAÇÃO DA FICHA DE ALERTA DE QUALIDADE**

**Carla Souza Arruda<sup>1</sup>**

**Msc Ailton Leonel Balduino Junior<sup>2</sup>**

### **ABSTRACT**

The work will present the process of founding the company Minusa mechanical industries S.A, located in the city of Lages. The main equipment used in casting the parts (sand conveyor and store, Vick GC 100 automatic molding machine, Cold Box blow molding machine and the Pep Set semi-automatic molding process) is presented. Also discussed is the process of melting and casting, the finishing process and the analyzes made in the sand, chemical composition of the molten metal and metallography. The problem addressed in the work is the overcrowding of the finishing sector, which ends up making more parts recovery than finishing. In an attempt to solve this problem, a quality alert sheet containing the image of the main casting defects and its cause was prepared. This sheet has been prepared in accordance with defects in parts most recurring in the factory, and distributed to the employees of the finishing, so that they are aware of these defects and may interfere in the casting process. The expected results were not achieved, and this can be attributed to the short implementation time of the listing. But despite this, the employees of the finishing sector holds this knowledge, which if doubts is a benefit to the company.

Keywords: Casting. Defects. Process.

## 1- INTRODUÇÃO

A formação da peça fundida se dá por meio do derramamento de dada liga metálica líquida no interior de uma cavidade denominada molde, cuja forma corresponde o negativo da peça desejada, e com a solidificação desta liga metálica se dá a peça fundida. O processo de fundição começa com o projeto da peça a ser fundida, a partir deste projeto é feito o modelo com as marcações de macho ou massalotes. A etapa seguinte é a de moldagem. Na empresa estudada é utilizada moldagem manual (que consiste em fazer os moldes manualmente), e a moldagem automática, onde os moldes são feitos com auxílio de uma máquina. O molde é a areia compactada sobre o modelo, com auxílio das caixas de moldagem. Quando o modelo é tirado, o negativo da peça a ser fundida fica impressa na areia. Este processo é feito duas vezes por peça (para a parte de cima e para a parte de baixo). Então as duas partes são unidas com o auxílio de talhas, e os moldes fechados seguem para o vazamento. Para o processo de desmoldagem, as caixas de areia contendo as peças já vazadas são jogadas em uma plataforma vibratória, onde é separado areia, peça, canais de enchimento e massalotes. A areia volta para o misturador onde é reaproveitada para a moldagem manual e em alguns casos para os outros processos. O setor do acabamento é responsável por “limpar” os resíduos de areia que ficam nas peças (através da máquina gancheira), cortar os canais de alimentação e massalotes (através do esmeril), e em alguns casos retrabalhar as peças.

A Minusa Indústrias mecânicas S.A, atua no ramo metalúrgico sendo a principal produtora na América Latins de peças de reposição para o sistema rolante de tratores das marcas Caterpillar, Fiat, Komatsu, entre outras. Para a confecção destas, a empresa possui setores de fundição, forjaria, usinagem e tratamentos térmicos. O setor a ser estudado, a fundição, apresenta um alto refugo (índice de peças mortas), e muitas peças que saem com defeito de fundição e precisam ser retrabalhadas (cobrir estes defeitos com solda ou massa). O problema é o índice excessivo de retrabalho, que acaba sobrecarregando o setor. E como as causas destes defeitos vem das etapas de moldagem e vazamento, o controle de qualidade criou uma ficha chamada “alerta de qualidade”, onde são apresentados os principais defeitos em peças já produzidas, e um pequeno descritivo da causa destes defeitos. O objetivo da ficha de alerta de qualidade é informar os funcionários do setor do acabamento sobre os defeitos, para

que eles possam entender o que é realmente o defeito, onde ele surge e porquê. Sua implementação foi feita deixando uma cópia da ficha, de cada uma das peças mais produzidas, disponível no setor para que os operadores tivessem acesso, e eu como estagiaria, tinha a função de acompanhar eles durante a tarde e tirar alguma dúvida que surgisse. Assim, eles terão informação para fiscalizar o pessoal do outro setor na intenção de diminuir o índice de retrabalho e consequentemente o índice de refugo.

A pesquisa tem por objetivo descrever como são realizados os processos e apresentar os resultados da ficha de alerta de qualidade no setor da fundição. Para entender e descrever estes processos, foi realizado coleta de dados todos os dias o setor, cada etapa da produção e fiz pesquisas bibliográficas. Para a verificação desses resultados, foi coletado o índice de refugo (peças mortas) que tinha no setor e o peso destas peças (no período em que eu estava na fábrica, de segunda a sexta das 13:00h as 17h), e foi coletado também o índice de peças que foram retrabalhadas no mesmo período. Com estas informações, foi comparado o mês de setembro (onde a ficha ainda não havia sido implantada) e os meses de outubro e novembro com o sistema já implementado). A ficha de alerta de qualidade foi criada com o principal objetivo da diminuição do índice de refugo e retrabalho).

## 2- O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Segundo Siegel (1985), a fundição vem a ser a conformação de um metal no estado líquido. Tal processo consiste em aquecer o metal até que ele se funda e se transforme em um líquido homogêneo.

Segundo Soares (2002), o líquido será “despejado” em moldes onde, ao solidificar-se adquire a forma desejada. Dentre os processos de fabricação, a fundição se destaca por permitir a produção de peças com grande variedade de formas e tamanhos, peças de extrema responsabilidade como as que se destinam à indústria aeronáutica e aeroespacial, e peças banais.

Estima-se a existência de 1000 empresas instaladas no país, embora somente 278 sejam filiadas à ABIFA. Isto significa que ao lado de importantes e conceituadas empresas, convive um grande número de fundições de “fundo de quintal” com, geralmente, administração familiar e grandes problemas tecnológicos. (SOARES, 2002).

*“A fundição não encontra paralelo com outros processo de conformação pelo fato de que, em muitos casos, é o método mais simples e econômico e, em outros, o único método tecnicamente viável de se obter uma determinada forma sólida” (V. Kondik).*

### 2.1 - Sistema de armazenamento e transporte de areia

A parte da areia é formada por duas partes: o sistema recuperador de areia, formado por: vaso de transporte pneumático, tubulação para transporte pneumático para areia recuperada, silo de estocagem de areia, filtro de mangas pulsantes, resfriador de areia, separador magnético rotativo, vaso de transporte pneumático, silo bipartidário de estocagem

de areia nova e recuperada, válvula de gaveta dosadora de areia, dosador de óxido de ferro, e o misturador de areia estático (SIEGEL, 1985).

De acordo com a empresa GUIFA equipamentos para fundição LTDA, a empresa fornecedora dos equipamentos para a empresa estudada (2006), o recuperador de areia tem capacidade 10 ton. Hora, 8 metros de altura, comprimento de 6,5 metros, largura de 2,2 metros e potência de 40 CV.

O recuperador de areia irá fazer a limpeza dos grãos, separando os finos e retirando a película de resina que envolve os grãos. Este equipamento trabalha com sistema de movimentação da areia através de pressão negativa (sucção). A areia ao se movimentar através do equipamento passa por placas onde os grãos entram em atrito ocasionando a quebra da película de resina que o envelope, após a areia os mais finos passam por um ciclone, neste ponto os finos são arrastados para o filtro de mangas e a areia precipita no ciclone sendo descarregada para o vaso o qual transporta para o silo de estocagem de areia recuperada. (GUIFA equipamentos para fundição LTDA, 2005).

Na fundição, como na maior parte da indústria, realizar um transporte de material eficiente, rápido e seguro é de suma importância para o funcionamento adequado dos processos e para evitar gastos desnecessários. (ECOSAND, 2018).

A sucção é gerada por exaustor, que está posicionado no final do circuito, ou seja, após o filtro, sendo assim este exaustor trabalha somente com areia já filtrada, o que evita desgaste de seus componentes por abrasão no ponto de descarga que possui silenciador mantendo o ruído dentro de 80 decibéis na saída do ar. (SIEGEL,1985).

Na saída de areia do ciclone há uma válvula borboleta dupla pneumática para descarga da areia e ao mesmo tempo evitar a entrada de ar no circuito de pressão negativa, e da mesma forma há outra válvula na saída de pó do filtro. (GUIFA equipamentos para fundição LTDA, 2005).

A tubulação para transporte pneumático de areia recuperada é toda constituída em tubo Sch 40, diâmetro 4", parede do tubo 6,02 mm, flangeada com juntas na união, parafusos de alta resistência e curvas de raio longo com proteção anti-abrasão, contendo 16 metros de tubulação diâmetro 4" com flanges, juntas e parafusos. (GUIFA, equipamentos para fundição LTDA, 2005).

O silo de estocagem de areia tem capacidade total de 40 toneladas, e tem a função de armazenar a areia que está em circulação evitando assim o acúmulo de areia no piso da fábrica. Este silo possui escada externa para acesso as sondas de nível e tampa superior. Instalados no

corpo do silo, sensores de nível para comando do transporte pneumático. A válvula de segurança está instalada na parte superior do silo caso ocorra problemas de excesso de pressão durante o transporte pneumático. (GUIFA equipamentos para fundição LTDA, 2005).

Os filtros podem ser instalados na lateral ou na tampa superior dos mesmos, sendo mais eficaz quando instalado na lateral, pois o pó é retirado do sistema. O funcionamento do filtro de mangas consiste na entrada do ar carregado de pó, pela parte inferior do equipamento, movimentando-se para cima, com baixa velocidade em função da grande área encontrada. As partículas de pó são retidas na face externa das mangas, passando para dentro somente o ar limpo, que sai para a atmosfera ou é sugado por um exaustor (ECOSAND, 2018).

O resfriador de areia modelo RAF10, garante a redução da temperatura da areia recuperada para ser enviada para a moldagem, pois a areia acima da temperatura ideal provoca areação prematura da resina fazendo que o molde perca a resistência. Em compartimentos separados a água e a areia movimentam-se em contra fluxo fazendo assim o resfriamento da areia. O equipamento possui cone de entrada de areia e bica de saída. Todo movimento da areia é feito através do leito fluidizado com injeção de ar comprimido e controlado por painel pneumático. A pressão de trabalho é de 1kg/cm. (GUIFA, equipamentos para fundição LTDA, 2005).

O separador magnético rotativo, modelo SM tem a finalidade de reter as partículas metálicas contidas na areia e descartando-as para uma caçamba existente ou tambor. Com potência de 1CV, dimensões de 800 mm de largura, 1000mm de comprimento e 1100 mm de altura (GUIFA, equipamentos para fundição, LTDA, 2005).

O vaso de transporte pneumático modelo TP200 recebe a areia que passou pelo resfriador e separador magnético e transporta para o silo misturador de areia (GUIFA, equipamentos para fundição LTDA, 2005).

O silo bipartidário de estocagem de areia nova e recuperada tem capacidade de 20 toneladas, São instalados no corpo do silo, sensores de níveis para comando do transporte pneumático. Existem sensores nas duas partições do silo que controlam independentemente o transporte de areia nova e recuperada. É instalada na parte superior do silo uma válvula de segurança que faz a segurança do silo (SOARES, 2002).

A válvula de gaveta dosadora de areia é um conjunto de válvulas composto por quatro válvulas de gaveta pneumáticas, as quais dependendo da programação feita pelo operador do misturados, muda a dosagem automaticamente. Este conjunto de válvulas permite a programação de três receitas: Primeira receita 100% areia nova, segunda receita 100% areia

recuperada e terceira receita 70% de areia recuperada e 30% de recuperação de areia nova (variação através de aferição manual), (SOARES,2002).

O dosador de óxido de ferro, tem capacidade do reservatório de 75 litros. A finalidade deste equipamento é dosar o óxido de ferro obedecendo á variação da porcentagem em relação a quantidade de areia a ser misturada. Sua forma construtiva possui um reservatório que recebe o óxido de ferro, a parte inferior é formada por um tubo com rosca sem fim acionado por um moto redutor controlado por inversor de frequência onde é regulada a vazão do produto em função da rotação. Antes da bica de descarga do produto há um ponto de aferição de dosagem para que o operador certifique de que está correta a dosagem sem descarregar o produto no misturador e sim em um recipiente de peso conhecido para posterior pesagem e aferição (GUIFA equipamentos para fundição LTDA 2005).

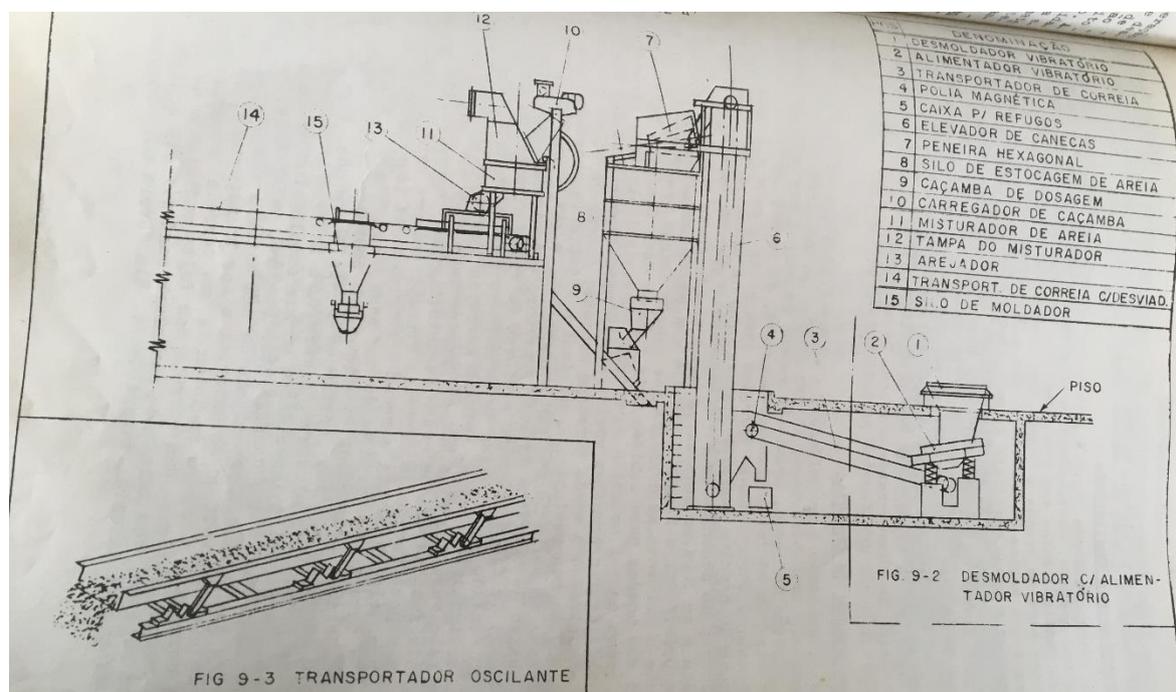
O misturador bi-articulado modelo ARG 15 tem capacidade de 15 toneladas/hora, potência de 10 HP e alta rotação de mistura. Um misturador tem como função misturar a areia (argila bentonita nacional), com a água e o carvão para formar a areia verde, geralmente é fabricado em alumínio fundido (HM MÁQUINAS, 2011).

Com três receitas, areia nova e recuperada ou somente nova ou somente recuperada. Sistema completo de injeção de resinas com duas bombas de engrenagem, dois Motoredutores, duas válvulas dosadoras com registro tripartido. Eixo sextavado perfurado, para rosqueamento das palhetas que são tratadas na dureza 44HRC (acompanha certificado de tratamento). Para liberação de areia está instalada válvula borboleta com atuador (HM MÁQUINAS, 2011).

Com este modelo de misturados a limpeza interna da calha e do eixo misturador se tornam simples, pois a calha é bi-partida não existindo a necessidade de remover o eixo do

equipamento. Possui sistema de bombeamento composto por três bombas dosadoras do tipo engrenagem com acoplamento magnético. (GUIFA equipamentos para fundição LTDA 2005).

Imagem 1: Esquema de armazenagem e transporte de areia.



Fonte: (SIEGEL, 1985).

## 2.2 Areias

Uma areia de moldação é constituída essencialmente por grãos refratários da areia-base, aglomerante destes grãos e água. Há vários tipos tanto de areia-base como de aglomerantes (SENAI, 1987).

Nesta fundição, assim como em muitas outras, são utilizadas areias de sílica sintética ou areia verde. A moldagem em areia verde é o processo mais comumente empregado na fundição. É preferido por motivos de economia e pelo fato de permitir a produção de peças de qualidade na maioria dos metais (ferrosos e não ferrosos). O processo consiste na compactação da mistura plástica da areia (composta basicamente de areia de sílica, argila e água), sobre um modelo com o formato da peça a ser fundida. (SIEGEL, 1985).

A determinação da forma e estrutura dos grãos é feita pela análise dos mesmos em microscópio estereoscópico. A sílica possui alta capacidade de dilatação térmica, o que nem sempre é bom, porém apresenta uma alta temperatura de sinterização, baixa densidade e baixo custo, além de ser um bom isolante térmico (SENAI, 1987).

A argila tem a propriedade de absorver água adquirindo plasticidade e coesão. Existem diferentes tipos de argila. Em fundição, utiliza-se, geralmente, as bentonitas, sob a forma de partículas de dimensões inferiores a 0,02 mm, ou seja, 20 µm. Adicionando-se água a uma mistura de grãos de sílica e argila, esta absorve a água e, por ação mecânica, envolve os grãos de sílica ligando-os entre si, isto é, aglomerando-os. Uma areia assim preparada pode ser trabalhada, ou seja, utilizada na moldação. Portanto podemos dizer que a argila tem uma função aglomerante (SENAI,1987).

A areia-base é uma areia refratária, normalmente silicosa, sendo que se for originária de areia de praia deve ser lavada previamente para retirada dos sais. A composição química da areia-base afeta a dilatação térmica da areia, a reatividade com o metal fundido mas, principalmente, a refratariedade do molde. Essa última propriedade é particularmente importante na fundição de aço (SOARES, 2002).

Além da areia-base, da argila e da água, costuma-se adicionar à areia de moldação outros produtos, a fim de melhorar alguma propriedade da mesma. O carvão é adicionado com o objetivo de melhorar o acabamento superficial das peças, em função dos gases redutores. Os carvões adequados são de tipo mineral betuminoso de alto teor de voláteis. Com uma granulometria adequada, sempre pouco mais fina que a areia, funciona como junta de dilatação, atenuando a expansibilidade da areia (SIEGEL, 1985).

A dextrina é uma resina sintética derivada do amido, normalmente utilizadas em machos, é utilizada para dar resistência mecânica a areia. É utilizada também nos moldes de areia verde para melhorar a trabalhabilidade (SOARES, 2002).

A areia branca que é composta pela mistura-base e aditivada com dextrina. Devido a sua grande importância, ela acaba sendo a areia mais cara produzida, pois é feita com areia nova e bentonita. É parte da areia que faceia o modelo e que entra em contato com o metal no vazamento. Devido ao contato direto com o metal líquido, a areia de faceamento deve apresentar uma boa resistência mecânica e bom acabamento superficial, conflitando assim com a alta permeabilidade (capacidade de liberar gases formados. (SIEGEL, 1985).

A areia para macharia, leva a mistura-base, outras duas resinas e um catalisador à base de amônia (Trietilamina). As resinas têm como função envolver os grãos de areia, criando como se fosse um esqueleto que lembraria uma esponja se a areia fosse removida, aumentando muito a resistência mecânica do macho gerando uma ótima resistência a erosão devido ao metal líquido e, ainda assim, garantir uma fácil retirada destes de dentro das peças fundidas. Este esqueleto ganha resistência ao reagir com a trietilamina (SIEGEL, 1985).

A mistura é preparada pela própria máquina moldadora de machos, sendo essa de grande valor tecnológico e de alta precisão, portanto, não são feitas análises nestas areias.

A areia FC250 recebe este nome devido a sua utilização nos moldes de ferro fundido cinzento. Esta areia é reciclada e possui além da composição básica (neste caso bentonita nacional), certa quantidade de carvão do tipo Cardiff. O carvão é usado com a função de criar uma atmosfera redutora dentro do molde melhorando o acabamento superficial das peças. Este carvão não deve ser usado em aços pois alteraria a composição nas superfícies das peças. A areia usada vem da desmoldadora e passa por um processo antes de ser reaproveitada. Depois de passar pela desmoldadora, a areia deve ser peneirada para livrá-la de rebarbas, grampos, etc. Utilizam-se peneiras com separadores magnéticos, então a areia é transportada ao misturador, onde o mesmo é movimentado para a retirada dos finos inertes e a argila queimada (SIEGEL, 1985).

As areias para moldagem são classificadas quanto à origem: natural; semi-sintética ou sintética. Apesar de já estar "pronta" a areia natural tem sido pouco utilizada dada as suas baixas propriedades. Também quanto ao uso: nova ou reciclada. Fundição de areia-verde que trabalhe basicamente com areia usada (reciclada) utiliza cerca de 10% de areia nova para recompor as perdas durante a reciclagem e manter as propriedades da areia estáveis. Na areia reciclada são adicionadas também pequenas quantidades de aglomerantes e água (SOARES, 2002).

## 2.3 Modelação

Para que possam ser fabricadas peças fundidas, primeiramente deve-se obter um modelo a ser seguido, um modelo.

Para Siegel, 1985, entende-se por modelação, todos os requisitos necessários para a confecção de um corpo chamado molde ou modelo, que tem como função a obtenção de peças fundidas. É indispensável considerar o projeto da peça o qual deve ser feito tendo em vista a necessidade de reprodução em metal fundido e dentro da ideia básica de ser necessário a criação do negativo do modelo.

Peças mal projetadas não só dificultam a execução da peça fundida e impedem soluções econômicas de produção, como também influem na boa qualidade e nas condições de preço, e finalmente podem criar situações complexas na produção. Assim posto, é indispensável primeiramente observar o projeto da peça, tendo em vista suas melhores condições de moldabilidade (SIEGEL, 1985).

Tradicionalmente são utilizados para modelos e caixas de macho materiais como madeira (cedro, pinho e compensado) e metais (alumínio e aço, principalmente). Estes materiais diferem entre si quanto ao acabamento e a durabilidade que conferirão ao modelo. A madeira é versátil e barata mas pode prejudicar o acabamento superficial da peça fundida. Na maioria das fundições são usados moldes de ferro, que é empregado por resistir ao desgaste provocado pela moldagem, aumentando a reprodutibilidade das peças, e pelo melhor acabamento da peça fundida. (SOARES 2000).

Para a construção do modelo, além das peças manuais comuns, as modelações devem dispor de equipamentos mecânicos (bancadas, serra de fita, serra circular, plaina, torno de madeira, torno mecânico, desempenadeira, fresas universais) (SIEGEL, 1985).

Depois da peça modelo pronta, ela é dividida em duas partes (superior e inferior), e uni-las em uma base, obtendo assim o molde pronto. Em casos de produção automatizada, que é o caso da empresa, são adicionados às placas de moldagem os canais de ataque e enchimento, bem como, os espaços reservados para massalotes ou luvas exotérmicas.

Para Siegel 1985, massalote também chamado luva exotérmica, é uma certa porção de metal, justaposta a uma peça em local conveniente, para fornecer metal líquido àquelas zonas da peça que serão solidificadas por último e que apresentariam uma deficiência decorrente na contração a que estão sujeitos os metais durante o processo de resfriamento, por isso deve-se

colocar o massalote nos últimos pontos que serão solidificados. A superfície superior do massalote deve ser plana ou levemente convexa, pois a pressão atmosférica poderá romper esta camada superior e estabilizar as pressões. Só assim fica garantido a entrada de ar favorecendo a alimentação da peça.

Os moldes metálicos são não destrutíveis, mesmo tendo uma vida finita, limitações quanto a peso das peças e temperatura do metal, e possuem melhores precisões dimensionais. Os moldes de areia são destrutíveis (uma única utilização), porém a areia pode ser reciclada. Não apresenta boa precisão dimensional (RAMPAZZO 1989).

Imagem 2: Modelo da peça “colar”, parte superior.



Fonte: o autor.

Imagem 3: Modelo da peça “colar”, parte inferior.



Fonte: o autor.

Imagem 4: Massalote ou Luva exotérmica.



Fonte: o autor.

## 2.4 Moldagem Pep Set

Nesta parte do processo é feito o negativo da peça onde será vazado o metal líquido. Existem diferentes meios de se obter as caixas para vazamento. Nesta e na grande maioria das fundições é utilizado algum tipo de areia para a produção das caixas. A areia utilizada chama-se areia verde. Isso significa que assim que a caixa é feita, esta já está pronta para vazamento.

As caixas de moldar são usadas tanto no processo semi-automático (pep set), quanto na moldagem automática. A máquina é equipada com o misturador, que fornece areia para o processo. O misturador despeja a areia sobre a caixa onde está o molde.

A preparação das caixas consiste em vedar o molde com um aro metálico e enche-lo de areia, compactando-a para que ela assuma as formas do modelo. O operador apenas desliza a caixa sobre os roletes para a próxima operação, que consiste em um outro operador passar a régua para nivelar a areia. São dois moldes, a parte de baixo e a de cima. Na parte de cima outro operador adiciona massalotes (geralmente quatro por molde). Depois de os moldes cheios com a areia, com ajuda de talhas retira-se a base do molde, então as caixas vão sobre roletes para a próxima etapa. (SIEGEL, 1985).

A próxima etapa é a cabine de pintura. O tanque para pintura com bomba de circulação fica posicionado após o looping da Pepset. Ao molde chegar no tanque, o mesmo é pego por um manipulador o qual levanta este molde e o leva para cima do tanque. Este movimento é feito por monovia instalada paralela ao tanque estando o molde posicionado em uma bomba pneumática, é acionado o bombeamento da tinta do tanque através de uma mangueira com um bico aspersor executando assim a pintura por lavagem, o excesso de tinta retorna ao tanque. Esta mesma bomba fica acionada após a pintura recirculando a tinta no tanque mantendo assim a homogeneidade da tinta. (GUIFA, equipamentos para fundição LTDA, 2005).

Imagem 5: Looping Pep Set.



Fonte: o autor.

## 2.5 Moldagem na máquina Vick GC100

A Vick GC 100 é uma moldadora automática, com rotação e extração de molde.

*“Nestas máquinas, a mesa de trabalho suportando o modelo, a caixa de molde é acionada por um pistão acionado pneumaticamente e ao atingir o fim de curso é deixada cair em queda livre contra a massa de impacto da própria máquina. A compactação se dá pela energia cinética da areia ao cair e a sua intensidade depende da amplitude do curso, do número de pancadas e da altura e densidade da areia”. (SIEGEL, 1985).*

As máquinas de impacto com inversão ou rotação são utilizadas para a moldagem do fundo dos moldes. A caixa de moldagens vem até o operador através de uma esteira de roletes. Com a caixa já posicionada, o operador aciona uma pedaleira que faz o modelo subir, e aciona um botão que faz a areia descer. Então, se forma o molde (o negativo onde a peça vai ser vazada). Esse molde vai virado com a parte lisa para cima para o próximo operador que faz a furação dos canais, limpa o excesso de areia com um jato de ar e adiciona machos quando necessário. Então esse molde vai para o próximo operador que tem por função colocar o molde na máquina de fechamento que consiste em elevar a parte de cima do molde e encaixar com a parte de baixo. Então outro operador leva esse molde já fechado e pronto para o vazamento (BALDAN E VIEIRA, 2014).

Imagem 6: Máquina de moldagem Vick GC100



Fonte: O autor.

Imagem 7: Máquina de moldagem Vick GC 100 (inversor).



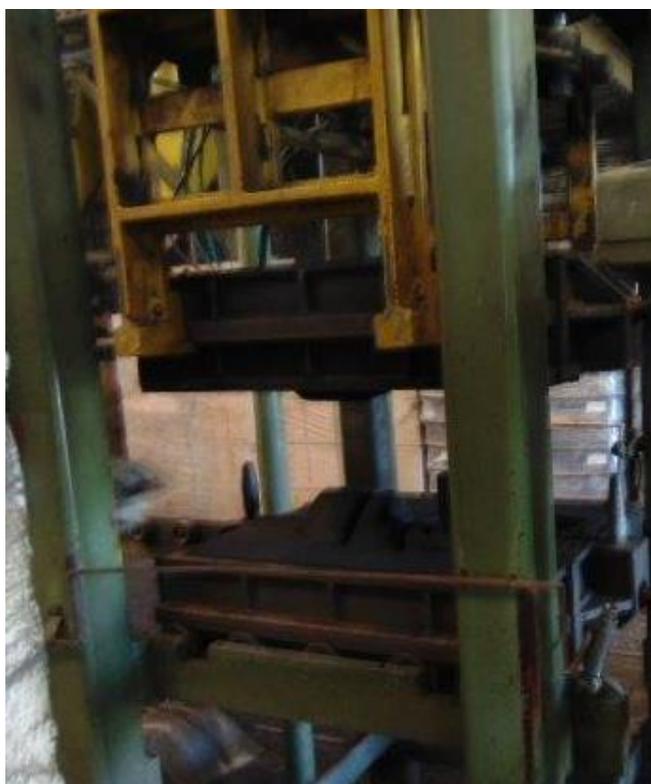
Fonte: O autor.

Imagem 8: Máquina de moldagem Vick GC 100 (Furação de canais).



Fonte: O autor.

Imagem 9: Máquina de moldagem Vick GC100 fechamento do molde.



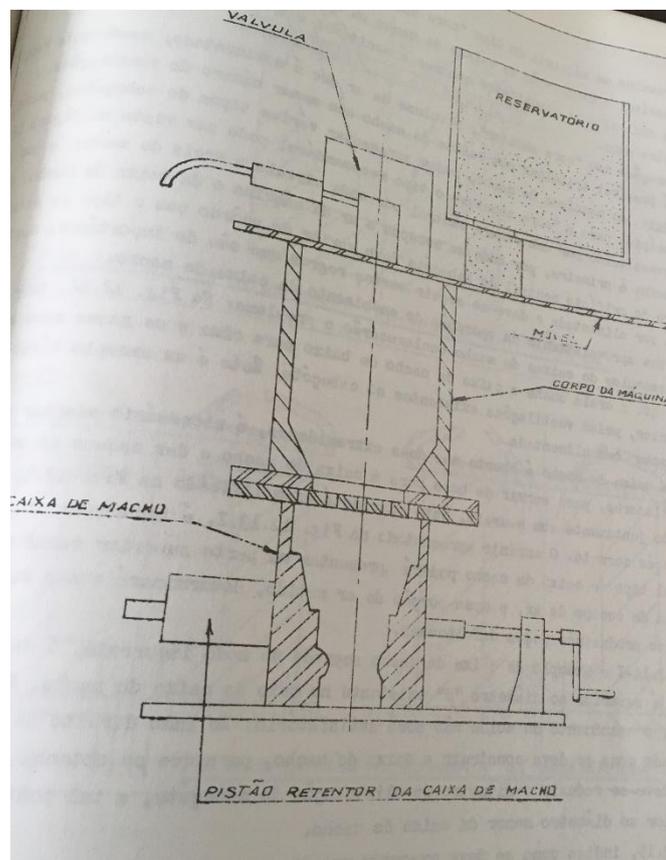
Fonte: O autor.

## 2.6 Macharia

O macho vai corresponder as cavidades que são necessárias nas peças fundidas, principalmente orifícios. Seu papel no molde é, portanto, ao contrário do modelo em si, formar uma secção cheia onde o metal não penetra, de modo que no final do processo a peça apresente um vazio naquele ponto.

Nesta e em outras fundições é usada a “máquina de soprar machos”. As máquinas de soprar machos proporcionam um método rápido de confecção de machos uniformes e de excelente qualidade. É chamada também de “Cold Box”. Estas máquinas são constituídas por um reservatório de areia montado sobre um sistema móvel, o qual suporta também um dispositivo mecânico de válvula para ar comprimido. O reservatório é afastado da parte superior do corpo da máquina, permitindo que a válvula tome o seu lugar, e ao ser acionada deixe passar ar sobre pressão através do corpo da máquina, soprando a areia e expelindo-a em forma de jato através do bocal da máquina, que está situado sobre a caixa de macho. Nestas máquinas a areia é posta de cima para baixo sobre pressão, o que obriga a areia a ser expelida de um modo violento em forma de um jato contínuo de areia e ar comprimido. Neste sistema há grande ação erosiva exigindo caixa de macho em ferro fundido, ou quando são feitas em aço são reforçadas em ferro fundido onde tem mais contato com a areia (SIEGEL, 1985).

Imagem 10: Máquina “sopradora de macho” “cold box”.



Fonte: SIEGEL, 1985.

Imagem 11: Machos para fabricação de buchas.



Fonte: o autor.

## 2.7 Fusão

Nesta etapa do processo é utilizado um forno a indução sem núcleo para derreter as cargas metálicas que formarão as peças.

Segundo Baldan e Vieira 2014, o princípio de funcionamento do forno por indução é o mesmo de um transformador: uma corrente variável, gerada por uma bobina, gera um corpo magnético variável, que gera uma corrente variável induzida na carga metálica. Esta corrente induzida aquece a carga por resistividade.

As correntes induzidas pelo campo magnético gerado pela bobina devem ser equilibradas, pois em quantidade adequada promovem homogeneização da composição e temperatura do banho, e gerando potência demasiada geram absorção de gases e desgaste do refratário (BALDAN E VIEIRA, 2014).

O início da operação é usualmente feito com carga sólida, mas após a primeira fusão é comum deixar certa quantidade de carga líquida do forno. Com cerca de 20% do total, chamando de “pé de banho”, essa quantidade de carga líquida ajuda a aumentar a velocidade de fusão da próxima carga, maximizando o rendimento total da operação (BALDAN E VIEIRA, 2014).

O consumo de energia para fornos de indução maiores é cerca de 550 kW/t de aço fundido, cerca de 20 a 30% a mais do que fornos elétricos a arco de maior porte, que possuem

hoje consumo de 350 kWh/t de aço produzido, para fornos produzidos mais recentemente (RIZZO, 2006c).

Na Minusa grande parte da carga é composta por material de retorno, ou seja, canais, alimentadores, sucatas externas e peças mortas de outros setores principalmente da forjaria que são derretidas e formarão novas peças. Adicionam-se também porções de liga de ferro contendo outros elementos, tais como C, Si, Cr, Mn e Mg. Durante o banho metálico é usado um escorificante para ajudar a eliminação de óxidos presentes nas cargas ou mesmo formados durante o banho. Em alguns casos também é adicionado ao banho uma certa quantidade de Al para e aumentar a resistência à oxidação e reduzir a quantidade de gases no fundido, diminuindo assim o surgimento de bolhas e poros. Depois de se analisar e corrigir caso necessário a composição do fundido, através da espectrometria, e da liga apresentar a temperatura ideal para o vazamento inicia-se a próxima etapa do processo (composições e temperatura).

Segundo Ferreira (1999), no ensaio de espectrometria de fluorescência por raios X, utiliza-se a interação entre o elétron com as radiações X primárias. As radiações X secundárias são geradas no processo e separadas por comprimentos de onda respectivos de cada elemento a ser analisado. Para a detecção, são utilizados métodos de dispersão de energia ou de dispersão de comprimentos de onda, e a intensidade de cada um deles é registrada.

Imagem 12: Forno a Indução Inductoheat.



Fonte: O autor.

Imagem 13: forno a indução Inductoheat.



Fonte: O autor.

## 2.8 Vazamento

O vazamento é o transporte do metal líquido através do derramamento da liga metálica do forno para as panelas e então para os moldes.

A operação de vazamento, em geral está associada à operação de elaboração da liga. O metal só terá suas propriedades finais definidas de composição e estrutura após solidificação, que pode alterar durante o vazamento. No vazamento a temperatura é normalmente oxidante e o metal entra em contato direto com o ar, podendo ter elementos químicos oxidados e absorção de gases que podem gerar porosidades. Para evitar o efeito oxidante da atmosfera, é comum adicionar-se desoxidante no metal líquido (BRADASCHIA, 1974).

Além de o metal estar em contato com o ar nesta etapa, o vazamento é um momento de grande turbulência no metal líquido. A turbulência por si só arrasta escória, gases e resíduos do molde. Deve-se portanto reduzir a turbulência do metal (BRADASCHIA, 1974).

Na panela, a turbulência pode ser diminuída por intermédio de vazamento do forno para a panela em jato coerente e menor altura do jato. No vazamento, diminui-se a turbulência mantendo-se o funil de vazamento cheio e pouca altura da panela de vazamento em relação ao molde (BALDAN E VIEIRA, 2014).

A temperatura de vazamento também é critério de cuidado. Tem de ser suficiente para que suporte a queda de temperatura de vazamento causada pelo vazamento do metal do forno para a panela. A temperatura de vazamento elevada aumenta consumo de energia, absorção de gases, turbulência, consumo de desoxidantes e reação meta-molde. A temperatura de vazamento baixa gera peças defeituosas por juntas frias e falta de preenchimento do molde (SIEGEL, 1985).

## 2.9 Desmoldagem

“Após solidificação da peça e passado tempo suficiente para um devido resfriamento no molde, segue-se com o processo de desmoldagem que consiste na separação da peça da areia do molde” (BALDAN E VIEIRA, 2014).

Este processo tem como finalidade separar a areia usada recuperável, que volta para o ciclo de condicionamento da areia, a areia de macho, elementos irrecuperáveis, como areia queimada, as caixas de moldar e os ganchos, e a peça com o sistema de canais e massalotes (SENAI, 1987°).

Na Minusa, o processo de desmoldagem se dá por vibração.

Segundo Baldan e Vieira (2014) as grades vibrantes consistem basicamente em uma caixa metálica contendo uma grade horizontal na parte superior. Um suporte rígido que atua na sustentação da caixa por meio de molas e espirais. O suporte é fixo no solo. Um dispositivo gerador de vibrações que é o elemento motor da grade. É movido por ação eletropneumática.

Imagem 14: Desmoldagem.



Fonte: O autor.

## 2.10 Acabamento

Após serem desmoldadas, as peças passam pelo jateamento com granalhas de aço que tem como função remover a areia sinterizada na superfície.

Na Minusa utiliza-se um equipamento denominado “gancheira”, produzida pela ROTOMAC DO BRASIL.

Na gancheira várias peças são penduradas, juntas, em suportes e conduzidas por um transportador aéreo para uma câmara de jato. Nessa câmara, as peças recebem jatos de abrasivos através de turbinas e em seguida saem limpas (SENAI, 1987).

A próxima etapa consiste na remoção de canais e massalotes, Na Minusa esta remoção é feita manualmente, os massalotes são tirados na marreta e os canais são cortados no oxicorte. etapas de acabamento compreendem o seccionamento dos a limpeza da peça por jateamento de areia ou de granalha de aço, seguido de rebarbação, tratamento térmico (opcional) e acabamento propriamente dito (usinagem, furação, etc.). Após cada uma dessas etapas as peças são inspecionadas e as com defeitos visíveis são separadas do lote (SOARES, 2002).

O próximo passo é a rebarbação, que é realizada com o uso de esmerilhadeiras. Sua função é fazer girar em grande velocidade um rebolo abrasivo, o qual é aplicado com certa pressão sobre a peça. (SENAI, 1987).

Imagem 15: Gancheira Rotomac do Brasil.



Fonte: O autor.

Imagem 16: Trabalhador retirando massalote usando oxicorte.



Fonte: O autor.

### 3. LIGAS PRODUZIDAS NO SETOR

De acordo com Chiaverini (1990), os aços-liga para fundição foram desenvolvidos com objetivo de suportar maiores pressões, maiores esforços de tração, temperaturas de serviço tanto baixas como elevadas, apresentando maior dureza, maior tenacidade, maior resistência ao desgaste, maior resistência ao choque assim como maior temperabilidade.

Entre os elementos de liga utilizados, o manganês é considerado o mais econômico, apresentado, por outro lado, um efeito muito importante sobre a temperabilidade do aço. Assim sendo, é comum a utilização de aços ao manganês para fundição, contendo 1% a 2% de Mn (BALDAN E VIEIRA, 2014).

Segundo Chiaverini (1990), os aços mais usados em peças fundidas são os que apresentam mais de um elemento de liga, o aço ao níquel-cromo, por exemplo, constitui um dos grupos mais importantes, pois a adição de cromo aos aços contendo só níquel aumenta suas propriedades mecânicas. Geralmente, estes elementos são usados na proporção de 2 a 2,5 de níquel para um de cromo. A faixa de composição usual é a seguinte: Carbono – 0,30% a 1,00%, Manganês – 0,60% a 1,00%, Silício 0,30% a 0,70%, Cromo – 0,50% a 2,00%, Níquel – 1,00% a 4,00%. (BALDAN E VIEIRA, 2014).

Aplicam-se em peças sujeitas a esforços de fadiga, ao choque, ao desgaste e a temperaturas elevadas, em equipamentos de escavação e construção, cilindros e laminadores, entre outros (CHIAVERINI, 1990).

Os aços ao níquel-cromo-molibdênio são os aços mais comuns em virtude de suas características de grande endurecibilidade no resfriamento ao ar. Os dois tipos mais gerais pertencem às classes 8600 e 4300. Desta última classe, um aço contendo 0,33% C, 0,75% Mn, 1,75% Ni, 0,7% Cr e 0,3% Mo pode apresentar no estado normalizado e revenido uma alta resistência à tração. Um aço da classe 8600, com 0,3% C, 0,9% Mn, 0,55% Ni, 0,5% Cr e 0,2% Mo, temperado e revenido a cerca de 540°C, mostra um limite de resistência à tração maior (BALDAN E VIEIRA, 2014).

Para peças fundidas do tipo mais geral, o teor de carbono é geralmente mantido abaixo de 0,40%, mas nas peças em que se exige resistência ao desgaste e a abrasão, pode-se usar um teor de carbono da ordem de 0,75% (CHIAVERINI, 1990).

O aço mais fabricado pela empresa é o aço 1040 especial MINUSA. Este é um aço com teor médio de carbono, entre 0,36 e 0,45% de C, que apresenta Cromo como principal elemento de liga. Os teores de Cr variam de 0,6 a 1,1%. O cromo aumenta a resistência mecânica dos aços, à custa, entretanto, da queda da ductibilidade. Esta, contudo, pode ser mantida pelo controle do teor de carbono. Como o cromo aumenta também a endurecibilidade, as peças fundidas de aço ao cromo são temperadas e revenidas para uso em peças sujeitas à corrosão pela água ou a temperaturas elevadas. A sua ação na microestrutura consiste em refinar o tamanho do grão.

De acordo com Moreira (2002), os ferros fundidos são ligas do sistema ternário Fe-C-Si com mais de 2% de carbono. Sua microestrutura pode apresentar parte do carbono na forma de grafita ou de cementita. Existem seis principais tipos de ferros fundidos: o cinzento, o branco, o mesclado, o nodular, o maleável e o de grafita compacta (vermicular), que são diferenciados pelo arranjo do carbono presente. As variáveis que determinam a forma do carbono são a composição química, a velocidade de resfriamento e o tratamento feito no banho. Na empresa trabalha-se com o ferro fundido nodular e o ferro fundido cinzento.

Segundo Soares (2000), a nomenclatura da ABNT para ferros fundidos cinzentos segue o modelo FC $xx$ , onde  $xx$  é o valor mínimo do limite de resistência em kg/mm<sup>2</sup> para uma barra padrão de diâmetro igual a 30 mm bruta e 20 mm após usinagem. Assim, uma barra fundida – e separado – com  $\phi = 30$  mm com ferro da classe FC25 exibirá uma resistência à tração igual ou superior a 25 kg/mm<sup>2</sup> (cerca de 245 MPa). Portanto, a nomenclatura do ferro fundido FC250 indica que este é um ferro fundido cinzento com limite de resistência à tração de aproximadamente 250 MPa. Para as aplicações previstas para as peças de FoFo cinzento na empresa, a melhor microestrutura possível é quando os veios de grafita encontram-se

distribuídos de forma homogênea, não sendo desejável lamelas interdentríticas (oriundas de resfriamentos mais bruscos).

O FE 6002 é o ferro fundido nodular, ou seja, apresenta grafita na forma esferoidal. O número 6002 indica que este deve apresentar limita de resistência a tração igual a 600 Mpa e alongamento, no mesmo ensaio, de 2%. (SOARES, 2002).

Segundo Soares 2002, a produção de ferros fundidos nodulares tem crescido bastante pois este material apresenta propriedades intermediárias entre o ferro cinzento e o aço. Entretanto, a produção de ferro nodular acrescenta à rotina de fusão do cinzento duas etapas - dessulfuração e nodulização - o que encarece o produto, quando comparado ao ferro cinzento. A nodulização é a etapa mais crítica do processo por empregar magnésio puro ou ligas contendo esse elemento. É adicionada uma liga de Fe-Si-Mg, que é uma liga de baixa densidade, ao fundo do cadinho e recobre-se esta liga com chapinhas aço para que o contato direto com o metal líquido não faça com que a liga nodularizante flutue, perdendo seu efeito. Este tem efeito se as peças forem vazadas em menos de sete minutos. A inoculação é realizada na transferência do metal líquido do cadinho para as panelas menores. Neste, a liga adicionada é a de composição 2 e seu efeito dura cerca de quatro minutos.

## **4. ANÁLISES DE AREIA E METALOGRAFICAS**

### **4.1 Análises em areias**

Segundo SIEGEL (1985), as areias devem apresentar resistência suficiente para suportar o peso do metal líquido. Devem suportar a ação erosiva do metal líquido no momento do vazamento; devem gerar a menor quantidade possível de gás, de modo a evitar a erosão do molde e contaminação do metal; ou devem facilitar a fuga de gases gerados para a atmosfera.

Na granulometria, a dimensão dos grãos de areia-base é determinada em laboratório e para expressá-la utiliza-se o módulo de finura que corresponde aproximadamente a medida ponderada dos tamanhos de grãos observados em uma areia. (SIEGEL 1985).

O ensaio de compactação é realizado com o objetivo de se ter a ideia da fluidez da areia pronta para moldagem. Valores altos de compactabilidade indicam que a amostra reduziu bastante a sua atura, mostrando a alta fluidez, ou seja, na aptidão à moldação. Porém outros fatores também influenciam na capacidade de moldação, como umidade e teor de argila e

aditivos, não sendo o ensaio de compactação suficiente para determinar esta propriedade. (SENAI, 1987 al.)

A análise de perda ao fogo visa medir a resistência da areia a calor, ou seja, se ela sofrerá perdas ao receber o metal líquido. O efeito da areia sob os efeitos do calor tem bastante influência sobre a obtenção de peças boas. O comportamento a quente inadequado pode provocar a formação de defeitos como penetração do metal na areia, reação do molde com o metal na areia, reação do molde com o metal e falta de resistência mecânica da areia a quente (SENAI, 1987 al.).

#### 4.2 Análises metalográficas

A análises visam manter o controle nos fundidos de acordo com as especificações técnicas.

As propriedades mecânicas e físicas de uma liga possuem ligação direta com a composição metalúrgica. Na maior parte das fundições existem processos de análise que vão, desde testes qualitativos para ligas simples, até testes quantitativos para ligas simples, até testes quantitativos para ligas que necessitam ser utilizadas em aplicações mais avançadas.

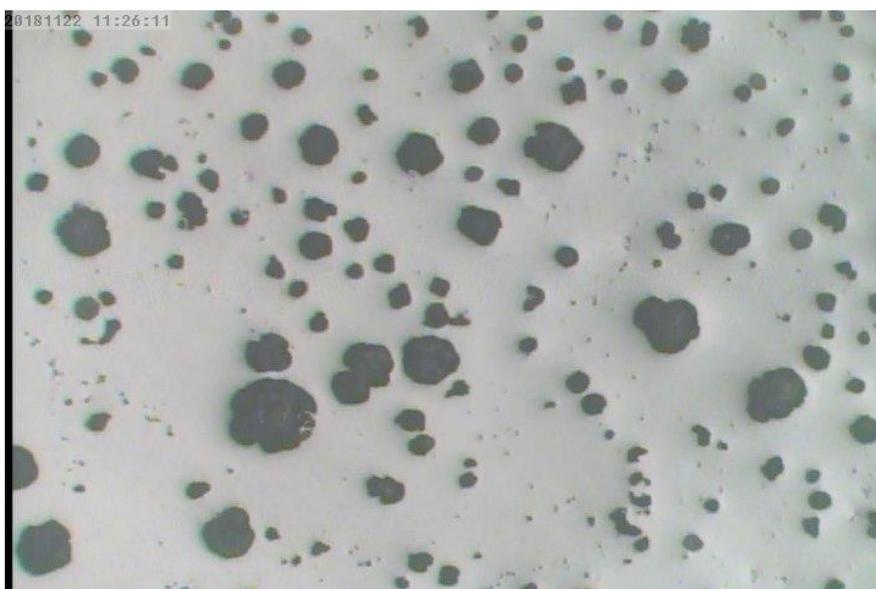
A obtenção das amostras é feita diretamente do forno onde se vaza um pedaço metálico chamado comumente de “bolacha” em molde metálico e prepara-se a mesma para a queima. As medições (queimas) tem formas circulares e aproximadamente 5mm de diâmetro. Como as medições tem que ser feitas em superfícies planas, as amostras são retificadas. Na primeira análise encontra-se a composição básica do banho: ferro, carbono e impurezas. Então são feitos os cálculos de adições que deverão ser feitas ao banho metálico. O espectrômetro dá a composição química da amostra. Na maioria dos casos, esse corpo de prova vazado é o suficiente para a determinação da composição química da peça inteira (FERREIRA, 1999).

A análise de microestrutura da peça é feita com o objetivo de determinar microestrutura em função da secção da amostra para que se preveja a microestrutura das peças.

A técnica de preparação de amostras para a realização de um ensaio micrográfico em microscópio ótico consiste na escolha e localização da secção a ser estudada, obtenção de uma superfície plana e polida no local escolhido para o estudo, exame ao microscópio para a observação das ocorrências visíveis sem ataque, ataque da superfície por um reagente químico adequado, exame ao microscópio para a observação da microestrutura, e o registro do aspecto observado (fotografia) (SILVA, 2008).

As amostras em ferros fundidos são feitas para que se tenha o controle sobre a quantidade de cementita presente, visto que esta não é desejável tanto nos ferros fundidos cinzentos quanto nos nodulares. Outro aspecto importante observado é o tipo de veio de grafita formado no ferro fundido cinzento. Fatores como inclusões e porosidades não são vistos como fundamentais na análise destas amostras.

Imagem 17: Metalografia ferro fundido nodular



Fonte: o autor.

Imagem 18: Metalografia ferro fundido cinzento



Fonte: o autor.

## 5. O PROBLEMA ABORDADO

Uma das funções do acabamento, não só na Minusa mas em todas as fundições, é a recuperação de peças fundidas. O também chamado “retrabalho”, consiste em reparação por solda ou aplicação de massa nos buracos causados por defeitos de fundição. “Em alguns casos de pequenos defeitos superficiais, eles são retirados com maçarico e rebolo” (BALDAN E VIEIRA, 2014).

O problema principal é a quantidade excessiva de retrabalho que precisa ser feita na fábrica. Isso implica em custos para a empresa, pois vai material e mão-de-obra. Como a origem deste problema é a fundição em si, o melhor a ser feito é tentar diminuir os defeitos na raiz, e para isso, foi elaborado um plano de ação que consiste em uma ficha chamada de “alerta de qualidade” (anexos). A ficha de alerta de qualidade já existia na fábrica, e era utilizada pelo setor do controle da qualidade para informar o encarregado do setor sobre a ocorrência de algum problema com as peças. A ideia foi utilizar esta ficha para mostrar para os funcionários do acabamento o que são os defeitos de fundição e como eles surgem, para que assim os

próprios funcionários possam entender de onde estão vindo estes defeitos e procurar cobrar do setor responsável destas falhas.

A coleta de dados para a tabela ficou sob minha responsabilidade, e para tanto pesquisei sobre os principais defeitos em peças fundidas.

Na ficha de alerta de qualidade contém o PF, que é o número que corresponde a peça na fábrica, o nome da peça, imagens dos defeitos que apareceram na peça e uma descrição do que é cada defeito e porque ele surge. A ficha de alerta de qualidade já existia na empresa, porém com a finalidade de o controle de qualidade encaminhar apenas ao encarregado do setor para que o mesmo fique ciente dos defeitos, a ficha foi adaptada para este outro fim, que é mostrar aos operadores sobre estes defeitos.

A ideia foi preencher uma ficha para cada tipo de peça mais produzida (buchas, colares, rodas, etc), e além de deixar as fichas disponíveis no setor do acabamento para os operadores, acompanhar o trabalho dos mesmos e tirando as dúvidas que surgiram.

## 5.1 - Resultados

Para obter os resultados da aplicação da ficha de alerta de qualidade, contei os refugos e as peças que eram retrabalhadas no período das 13:00 as 17:00 . Foi comparado os índices de peças mortas e retrabalho do mês de setembro (quando o sistema ainda não tinha sido implantado), outubro e novembro (com o sistema funcionando). Para isso, foi utilizado a quantidade de peças mortas/dia, e a quantidade de peças retrabalhadas/dia. Como apenas as peças que foram refugadas dentro do período em que eu estava na empresa foram consideradas, podemos considerar que estes resultados são apenas uma amostra do total, já que a fundição também funciona no período da manhã, da noite e alguns fins de semana. O sistema tem como objetivo, a diminuição de peças produzidas com defeito, diminuindo assim o índice de refugo (peças mortas) e o índice de retrabalho. As tabelas estão nos anexos.

## 5.2 - Defeitos de fundição

Para o preenchimento da “ficha de alerta de qualidade”, foi pesquisado sobre os defeitos de fundição.

De acordo com Baldan e Vieira (2014), os defeitos das peças vazadas podem atuar como amplificadores de tensões nos materiais, ou seja, diminuem a resistência às tensões a que vão

estar sujeitas em serviço.

Os defeitos de fundição são inumeros, portanto vou ater-me aos mais comuns.

Segundo AFS (1966), o enchimento incompleto é causado por excesso de pressão metalostática ou dinâmica do metal líquido, que produz um levantamento da parte superior do molde, sendo que sua carga não é suficiente para evitá-lo. Para evitar-se isso, deve se colocar peso suficiente para evitar o empuxo, fazer o grampeamento correto e se possível diminuir a altura do canal de descida.

A junta fria se deve à junção defeituosa entre os fluxos de metal. As causas deste problema são semelhantes ao enchimento incompleto. Recomenda-se reavaliar os pontos de instalação dos canais de ataque de acordo com a geometria da peça a fim de minimizar o problema. (SENAI, 1987p).

A gota fria trata-se de uma inclusão de mesma composição química do metal base, em geral, de formato esférico. Normalmente, ocorrem por causa da queda de gotas do metal de modo prematuro, solidificando-se sem que haja tempo de redissolução. Como solução para este problema, recomenda-se proteger os orifícios do molde para que não ocorra derramamento de metal prematuramente (SENAI, 1987p).

Rechupes são cavidade(s) mais ou menos dispersas, abertas ou fechadas, com paredes rugosas de formato dendrítico, e é causado por contração volumétrica como resultado da solidificação do metal, Gases despreendidos pelo molde em combinação com a pressão atmosférica, deformação dos moldes por sua dilatação, devido a altas temperaturas de vazamento e da pressão metalostática. Uma solução para este caso pode ser o cuidado com a umidade da areia, pois quando a areia está úmida esta umidade reage com o metal, e por ser também um defeito de baixa fluidez, devemos ter cuidado com a altura metalostática (AFS, 1966).

As incusões de escórias se devem ao acúmulo de impurezas nas panelas, ou a composição química incorreta do metal, como excesso de elementos prejudiciais como o fósforo causando inclusões não metálicas na superfície da peça. A solução é tirar a escória da panela antes de vazarem, e ter controle sobre a carga derretida e sua composição química (ABM, 1979).

A fuga de metal pode ocorrer em razão do excesso de fluidez do metal, ou movimentação dos moldes vazados/grampeamento mal feito. O metal tende a escapar pela superfície de separação da caixa do molde, formando grandes rebarbas após a solidificação. Para evitar este defeito deve-se planejar o local do vazamento com cuidado para que não pise

movimentar as caixas vazadas. Deve-se também ter cuidado na hora do grampeamento, observando sempre a qualidade dos grampos. Quanto ao excesso de fluidez se deve ao excesso de temperatura no vazamento e/ou composição química incorreta (ABM 1979).

## **6- CONCLUSÃO**

O processo de fundição é complexo, e envolve muitas máquinas e processos, variáveis que podem trazer defeitos para o produto final. Por envolver tantos processos fica difícil um controle preciso de defeitos, pois cada processo pode gerar defeitos, e são muitos fatores influenciadores. Raramente um defeito em fundição surge apenas por uma causa específica. A ficha de alerta de qualidade teve como finalidade principal a diminuição de refugo e retrabalho, mas não apresentou o resultado esperado. Concluo que o seu tempo de implementação foi insuficiente, e acredito que se a ficha continuar sendo implantada na empresa traga os resultados esperados. Apesar de não ter surtido este efeito de diminuição de refugo e defeitos, os colaboradores do setor agora possuem mais conhecimento sobre o assunto, o que sem dúvidas é bom para a empresa, e futuramente esta questão pode ser melhor trabalhada.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIEGEL, M. (ed.) Fundição. 15. Ed. São Paulo: ABM, 1985.

SOARES, G. Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia. Rio de Janeiro: Coppe Ufrj, 2000.

GUIFA equipamentos para fundição LTDA, 2005.

GUIFA, equipamentos para fundição LTDA, 2006.

HM MÁQUINAS, 2011.

ECOSAND, 2018.

SENAI, Acabamento de Rebarbagem de Peças fundidas, Belo Horizonte, Senai, 1987°.

RAMPAZZO, D. et al. Resinas Sintéticas para fundição. São Paulo, Alba, 1989.

BALDAN, R. Fundição, processos e tecnologias correlatas. São Paulo: Érica Ltda, 2014.

RIZZO, E. M. Introdução aos Processos de Refino Primário dos Aços nos convertedores a Oxigênio. São Paulo: ABM, 2006e.

FERREIRA, J. M. G. C., Tecnologia da fundição, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

SENAI, Defeitos de fundição, Belo Horizonte Senai, 1987p.

SENAI, Determinação dos Sistemas de Massalotes e Canais, Belo Horizonte: Senai, 1987ab. 2v.

BRADASCHIA, C. Fundição de Ligas não ferrosas, 3. Ed. São Paulo: ABM,1986.

CHIAVERINI, V. Aços e Ferros fundidos. 6 ed. São Paulo: ABM,1990.

SILVA, André Luiz. Metalografia dos produtos Siderúrgicos comuns 4ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

AFS – “Analysis of Casting Defects” second edition -1966;

ABM – Simpósio sobre Defeitos em Peças Fundias – COFUN – Joinville –SC -1979;

## 8- ANEXOS

**ÍNDICE DE REFUGO SETEMBRO**

<b><u>DIA</u></b>	<b><u>PEÇA</u></b>	<b><u>QTDE PEÇA</u></b> <b><u>MORTA</u></b>	<b><u>PESO PEÇA</u></b> <b><u>MORTA (KG)</u></b>
03/09	Bucha 3366 D4	16	62,88
04/09	Bucha D50	18	63,18
05/09	Roda motriz CA118	2	189
06/09	Mancal Jan	22	52,8
10/09	Bucha AD7	12	38,4
11/09	Colar AD7 S/R	7	28,42
12/09	Colar RI 250	2	9,74
13/09	Bucha D51	6	25,5
14/09	Bucha D50	5	17,55
17/09	Bucha D4D	4	15,72
18/09	Colar PC 400	2	17,2

19/09	Colar FX 215	2	8
20/09	Bucha AD7	12	38,4
21/09	Bucha D50	4	17,55
24/09	Colar FX 215	2	8
25/09	Bucha AD7	12	38,4
26/09	Bucha RID4	8	31,44
27/09	Colar EX130	4	14
28/09	Colar 903J	9	42,75

**TOTAL:718,93 KG**

**ÍNDICE DE RETRABALHO SETEMBRO**

<b><u>DIA</u></b>	<b><u>PEÇA</u></b>	<b><u>QTDE PEÇA RETRABALHADA</u></b>	<b><u>PESO PEÇAS RETRABALHADAS (KG)</u></b>
03/09	Roda guia D61	8	1192
04/09	Roda motriz 210 LC	15	855
05/09	Roda motriz 210 LC	15	855
06/09	Roda motriz Berco LK 684	31	1984

10/09	Roda motriz CA 1118	14	1323
11/09	Roda motriz EC 210B ITM	63	3400,28
12/09	Roda motriz EC 210B ITM	15	833,4
13/09	Roda motriz EC 210B ITM	49	2722,4
14/09	Roda motriz ID 2054	19	1795,5
17/09	Roda motriz ID 2054	19	1795,5
18/09	Roda motriz Berco LK 684	31	1984
19/09	Roda motriz EC 210B ITM	10	555,6
20/09	Roda motriz CA 1118	8	756
21/09	Roda motriz CA 1118	8	756
24/09	Roda motriz ITM R15040	21	1827
25/09	Roda motriz ITM R15040	21	1827
26/09	Grupo seg. RM AD7/FD9	1	50,5
27/09	Grupo seg. RM AD7/FD9	1	50,5
28/09	Grupo seg. RM AD7/FD9	1	50,5

<b>TOTAL: 2461,318 KG</b>
---------------------------

**ÍNDICE DE REFUGO OUTUBRO**

<b><u>DIA</u></b>	<b><u>PEÇA</u></b>	<b><u>QTDE PEÇA</u></b> <b><u>MORTA</u></b>	<b><u>PESO PEÇA</u></b> <b><u>MORTA (KG)</u></b>
01/10	Mancal Jan	5	25
02/10	Mancal Jan	10	50
03/10	Manca Jan	12	60
04/10	Roda Motriz E215B	15	312
05/10	Roda Motriz E215B	15	312
08/10	Roda Motriz E215B	15	312
09/10	Braço tensor	8	64
11/10	Anel CANSO	10	80
15/10	Bucha F.F. RI D8H	6	25,5
16/10	COLAR RI D65 S/R	9	43,83
17/10	BUCHA F.F. AD7/ FH200	1	3,2

18/10	COLAR RI AD7 S/R	8	32,48
19/10	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	1	54,8
22/10	COLAR RI D65 C/R	6	27,84
23/10	MANCAL RG D6C ESQ	5	38,400
24/10	RODA MOTRIZ EX215	2	120
25/10	ANEL TRASEIRO DO CUBO	136	291,720
26/10	RODA MOTRIZ EX215	1	60
29/10	BUCHA F.F. RI D65	16	74,560
30/10	COLAR RI D65 S/R	3	13,050
31/10	COLAR RI D65 S/R	7	30,450

**TOTAL: 2030,83 KG**

### ÍNDICE RETRABALHO OUTUBRO

<u>DIA</u>	<u>PEÇA</u>	<u>QTDE PEÇA</u> <u>RETRABALHADA</u>	<u>PESO PEÇAS</u> <u>RETRABALHADAS</u> <u>(KG)</u>
01/10	RODA MOTRIZ E215B	5	345

02/10	RODA MOTRIZ E215B	5	345
03/10	RODA MOTRIZ AD14 BIPART	1	83,200
04/10	BRAÇO TENSOR	2	52,960
05/10	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	2	109,6
08/10	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	2	109,8
09/10	RODA MOTRIZ FX215/ PC150 S/5 MODERNA	1	71,360
11/10	BUCHA F.F. RI D4/ MF3366	1	3,930
15/10	RODA MOTRIZ AD14 BIPART	1	83,200
16/10	RODA MOTRIZ 320L 16 FUROS	3	337,33
17/10	RODA MOTRIZ 320L 16 FUROS	3	337,39
18/10	RODA MOTRIZ 320L 16 FUROS	3	338
19/10	RODA MOTRIZ CA1118	4	224
22/10	RODA MOTRIZ CA1118	5	280
23/10	RODA MOTRIZ CA1118	9	504
24/10	RODA MOTRIZ CA1118	3	168,3

25/10	RODA MOTRIZ ITM (R15040H)	3	180,4
26/10	RODA MOTRIZ ITM (R15040H)	5	300,970
29/10	RODA MOTRIZ ITM (R15040H)	2	112,900
30/10	SEGMENTO RM D7E/F	8	56,130
31/10	SEGMENTO RM D7E/F	10	72,300

<b>TOTAL: 4115,77 KG</b>
--------------------------

**ÍNDICE REFUGO NOVEMBRO**

<b><u>DIA</u></b>	<b><u>PEÇA</u></b>	<b><u>QTDE PEÇA MORTA</u></b>	<b><u>PESO PEÇA MORTA (KG)</u></b>
01/11	MANCAL RG 922	2	30,00
05/11	MANCAL RG 922	2	30,00
06/11	AR RM AD7	1	42,87
07/11	BUCHA F.F RI D50	17	59,670
08/11	RODA MOTRIZ CR6358	8	403,76
09/11	MANCAL JAN	135	324,00
12/11	RODA MOTRIZ LK684	5	316,71

13/11	COLAR RI D4 S/R C/R	58	220,87
14/11	COLAR RI AD7/ MF3366 ADAP C/R S/R	47	190,82
16/11	CUBO RODA 8 FUROS	13	167,70
19/11	COLAR RI 322/PC150	30	145,80
20/11	RODA MOTRIZ EX215	2	120
21/11	RODA MOTRIZ EC140B	1	42,83
22/11	SEGMENTO RM D7E/F	15	238,5
23/11	SEGMENTO RM D7E/F	15	238,6
26/11	ARO RM CAMECO CENTRAL	1	43,30
27/11	MANCAL RG HYUNDAI LC140	9	79,65
28/11	ANEL DE RETENÇÃO CAMSO	37	81,250
29/11	ANEL DE RETENÇÃO CAMSO	30	75,349
30/11	ANEL DE RETENÇÃO CAMSO	32	77,890

<b>TOTAL: 2929,569 KG</b>
---------------------------

**INDICE RETRABALHO NOVEMBRO**

<b><u>DIA</u></b>	<b><u>PEÇA</u></b>	<b><u>QTDE PEÇA RETRABALHADA</u></b>	<b><u>PESO PECAS RETRABALHADAS (KG)</u></b>
01/11	RODA MOTRIZ CR6358	8	403,76
05/11	RODA MOTRIZ CR6358	10	504,7
06/11	RODA MOTRIZ CR6358	5	252,35
07/11	RODA MOTRIZ LK684	5	316,71
08/11	RODA MOTRIZ LK684	8	506,736
09/11	RODA MOTRIZ EX215	2	120,0
12/11	RODA MOTRIZ EX215	2	109,60
13/11	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	4	219,20
14/11	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	2	110
16/11	RODA MOTRIZ R160LC-9SB	4	240,13
19/11	ARO RM CAMECO CENTRAL	1	43,300

20/11	COLAR RI D50 DIR	15	105,480
21/11	COLAR RI D50 ESQ	8	58,56
22/11	SEGMENTO RM D7E/F	5	79,5
23/11	SEGMENTO RM D7E/F	5	79,7
26/11	ARO RM AD7	3	131,46
27/11	ARO RM AD7	4	171,32
28/11	ARO RM D4E/D4D	6	237
29/11	ARO RM D4E/D4D	5	197,13
30/11	COLAR RI PC138 US	20	63,40

<b>TOTAL: 3950,036 KG</b>
---------------------------