

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS BETIM*
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Ronan Alves de Lima

FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE
ANÁLISE DOS IMPACTOS DA CONTAMINAÇÃO DE ÓLEO HIDRÁULICOS NA
AREIA DE FUNDIÇÃO

Betim
2023

Ronan Alves de Lima

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DA CONTAMINAÇÃO DE ÓLEO HIDRÁULICOS NA
AREIA DE FUNDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Betim, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho

Betim

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

L732f Lima, Ronan Alves de
Fundição em areia verde análise dos impactos da contaminação
de óleo hidráulicos na areia de fundição / Ronan Alves de Lima. –
2023.

52 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mendes de Almeida Carvalho

1. Fundição. 2. Metalurgia. 3. Areia verde. 4. Contaminação por
óleo. 5. Engenharia mecânica. I. Lima, Ronan Alves de. II. Título.

CDU: 621.7

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Denísio P. Marcos CRB-6/3142



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Mecânica
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
213135976360 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

Aos 12 dias do mês de dezembro do ano de 2023, às 21:00 horas, sob a presidência de Gabriel Mendes de Almeida Carvalho, o discente do Curso de Engenharia Mecânica Ronan Alves de Lima., R.A nº 0029576 do IFMG – Campus Betim, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE ANÁLISE DOS IMPACTOS DA CONTAMINAÇÃO DE ÓLEO HIDRÁULICOS NA AREIA DE FUNDIÇÃO: um estudo experimental**” e foi **APROVADO** com a nota 70, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, em **05/01/2023** à Coordenação de TCC. O não cumprimento dos procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, implica em atribuição de nota ZERO e consequente **REPROVAÇÃO**.

Betim, 26 de dezembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Mendes de Almeida Carvalho, Professor**, em 26/12/2023, às 14:08, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fagner Guilherme Ferreira Coelho, Usuário Externo**, em 23/01/2024, às 13:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Fernandes Reis, Usuário Externo**, em 23/01/2024, às 14:28, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Dante Otavio Silvano Cruz, Usuário Externo**, em 23/01/2024, às 19:54, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1783494** e o código CRC **A0BABB46**.

23792.001800/2023-79

1783437v1

“Fundição não é uma arte!
É um campo do conhecimento tecnológico bastante complexo e com um grande número de variáveis.
Exige, pois, do fundidor, o saber e a sensibilidade de um artista!”

Rossitti

RESUMO

O processo de fundição em areia verde é amplamente utilizado na produção de peças metálicas, porque os moldes de areia têm forte resistência às altas temperaturas atingidas durante esses processos. Além disso, é uma técnica de fácil aplicação e baixo custo que pode ser executada manualmente e automaticamente. Embora o processo de fundição possa ser antigo, ainda é um processo complexo que exige melhoria contínua para se tornar cada vez mais eficaz. Sua complexidade se deve a diversas variáveis encontradas ao longo do processo, como dimensionamento dos massalotes e canais de descida, propriedades da areia utilizada, a utilização de filtros cerâmicos, entre outros. Esses fatores interferem diretamente na qualidade dos produtos já que, se realizados de forma incorreta, geram defeitos nas peças produzidas gerando retrabalho e perda de produtividade. O objetivo geral deste trabalho foi apresentar os impactos gerados pela contaminação de óleo na areia de fundição e as alterações das suas propriedades. O resultado aponta que essa contaminação influencia diretamente na qualidade da areia afetando as suas propriedades físico-químicas que gera grandes problemas para o processo.

Palavras-chave: Fundição. Areia verde. Contaminação. Óleo.

ABSTRACT

The green sand casting process is widely used in the production of metal parts, because sand molds have strong resistance to the high temperatures reached during these processes. Furthermore, it is an easy to apply and low-cost technique that can be performed manually and automatically. Although the casting process may be old, it is still a complex process that requires continuous improvement to become increasingly effective. Its complexity is due to several variables encountered throughout the process, such as the sizing of the batters and descent channels, properties of the sand used, the use of ceramic filters, among others. These factors directly interfere with the quality of products since, if carried out incorrectly, they generate defects in the parts produced, resulting in rework and loss of productivity. The general objective of this work was to present the impacts generated by oil contamination in foundry sand and the changes in its properties. The result shows that this contamination directly influences the quality of the sand, affecting its physical-chemical properties, which creates major problems for the process.

Keywords: Foundry. Green sand. Contamination. Oil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esculturas fundidas.....	17
Figura 2 - Ferramentas de ferro, "Idade do Ferro".....	18
Figura 3 - Bloco de motor fundido.....	19
Figura 4 - Representação da sequência de moldagem para fundição em areia.....	20
Figura 5 - Modelo de alumínio utilizado para a confecção de moldes.....	22
Figura 6 - Imagem de corte longitudinal de um massalote evidenciando a bolha.....	24
Figura 7 - Representação de canal de alimentação.....	26
Figura 8 - Vazamento de metal líquido no molde.....	28
Figura 9 - Foto ilustrativa de um permeâmetro de areia.....	30
Figura 10 - Característica do defeito tipo rechupe disperso.....	32
Figura 11 - Defeito tipo vírgula.....	33
Figura 12 – Peça fundida com defeito de bolhas.....	34
Figura 13 – Aparelho determinador de gases DVG.....	36
Figura 14 – Fluxograma do ensaio de concentração de óleo.....	37
Figura 15 – Etapas do ensaio.....	38
Figura 16 – Resultado com 0% e 5% de óleo.....	39
Figura 17 – Fluxograma do ensaio de evolução de gases.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção brasileira de fundidos.....	13
Tabela 2 - Características de matérias para fabricação de modelos.....	22
Tabela 3 - Relação de áreas de canais sugeridas para várias ligas.....	26
Tabela 4 - Propriedades da areia nos corpos de prova.....	40
Tabela 5 - Volume de gás em ml.....	42
Tabela 6 – Pressão dos gases em mbar.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção mundial de fundidos (milhões de toneladas)	14
Gráfico 2 – Geração de gases.....	44
Gráfico 3 – Pressão dos gases.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFA - Associação Brasileira de Fundição

AFS - American Foundry Society

R.C.V - Resistência de compressão a verde

Mbar - Milibar

CEMP - Comissão de Estudos de Matérias Primas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivo Geral	15
1.2. Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. A fundição	16
2.1.1. História da fundição	18
2.2. Processo de fabricação na fundição	19
2.2.1. Fundição em areia verde.....	21
2.2.2. Modelo.....	21
2.2.3. Molde	23
2.2.4. Massalote	23
2.2.5. Canais de alimentação.....	25
2.2.6. Fusão	27
2.2.7. Vazamento.....	27
2.2.8. Desmoldagem	29
2.2.9. Rebarbação e limpeza.....	29
2.2.10. Permeabilidade	29
2.2.11. Cálculo da permeabilidade (procedimento conforme ABIFA)	30
2.3. Porosidade.....	31
2.4. Contaminação de óleo	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1. Estudo de caso	35
3.2. Obtenção da amostra.....	35
3.3. Materiais utilizados	35
3.3. Determinação da concentração de óleo	37
3.4. Avaliação das propriedades da areia com a adição de 3% de óleo	39
3.5. Determinação da evolução dos gases	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Geração de gases na areia de moldagem contaminada com diferentes percentuais de óleo	42
5. CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO	52

1. INTRODUÇÃO

A fundição é uma técnica de produção antiga em que as cavidades são formadas por um padrão em um material poroso e refrativo, geralmente areia, e então o metal líquido é derramado na cavidade de modo a assumir a forma da cavidade, formando assim o produto metálico necessário (GROOVER, 2014).

Os materiais aplicados no processo produtivo de areia nas indústrias são submetidos a produção em caixa de fundição, formadas por areias a base de sílica, e para reduzir defeitos de fundição, adiciona-se uma composição resina e ligas que se juntam à bentonita e à areia de fundição para formar uma composição macho de areia (BALDAM, 2014).

A fundição em areia verde tem o custo operacional relativamente baixo em relação aos outros processos, devido à recirculação da areia que é quase toda reaproveitada (cerca de 98%). E tem a possibilidade de que se façam peças com cavidades e reentrâncias internas o que não se consegue obter em processos como forja e não se tornam inviáveis em usinagens, não necessita de um maquinário de custo elevado e tem a possibilidade de ser aplicados em diversos tipos de ligas (ferrosas e não ferrosas) (AURA, 2002).

Na Tabela 1 pode-se observar a produção brasileira de peças fundidas nos anos de 2021 a 2022.

Tabela 1 – Produção brasileira de fundidos

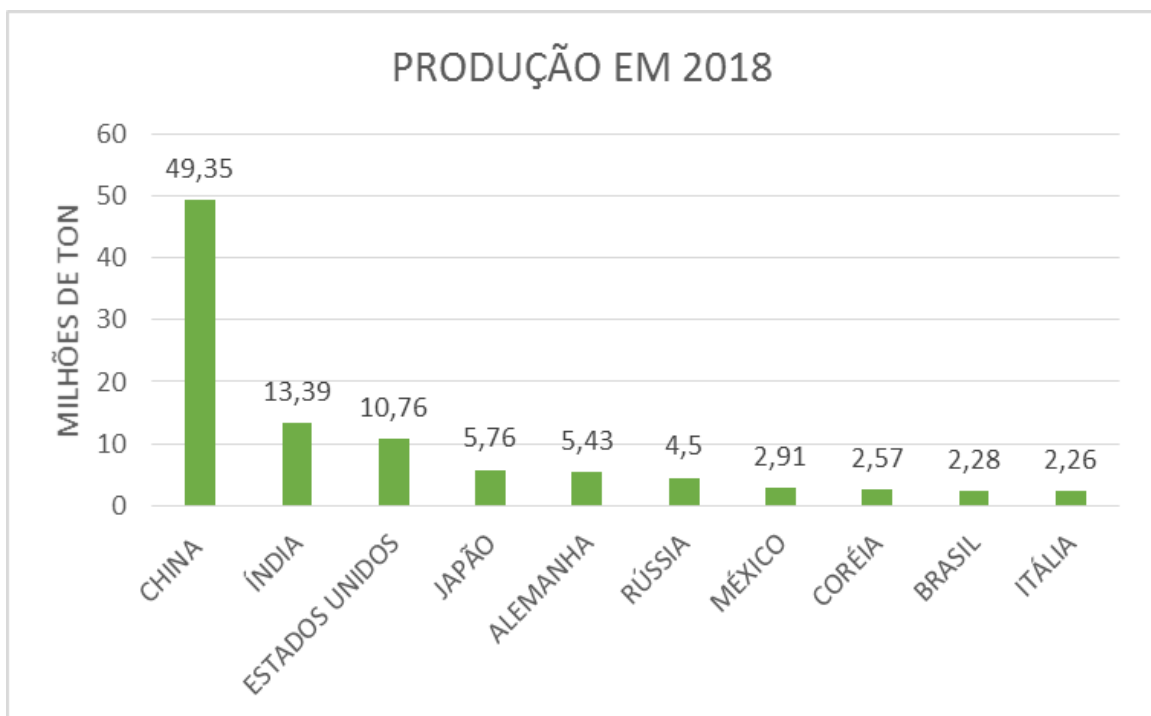
TIPO	2022	2021
FERRO	2.263.584	2.036.521
AÇO	289.588	267.065
NÃO FERROSOS	425.521	402.768
TOTAL	2.978.639	2.706.354

Fonte: ABIFA (2023, p.12)

A fundição do ferro, dá modelo e formas as peças, esse processo é constituído através de liga metálicas, esse processo acontece ao encher o molde que muitas das vezes é feito com areia com o metal líquido em uma temperatura alta, onde o molde de areia define as dimensões específicas da peça.

Os dados do Gráfico 1 mostram de forma clara a representatividade da indústria de fundidos no mundo, bem como o crescimento na produção ao longo dos anos. Logo, faz-se necessária a aplicação de metodologias para minimizar as perdas e retrabalhos em peças que são produzidas, reduzindo assim o custo de produção e tornando as empresas mais eficientes. A contaminação por óleo na areia é um problema que pode ocorrer em moldagens automáticas devido a utilização de óleos nos sistemas hidráulicos e na lubrificação. Com isso se faz necessário estudos sobre os impactos que essa contaminação representa na cadeia produtiva de peças fundidas e seus possíveis efeitos.

Gráfico 1 – Produção mundial de fundidos (milhões de toneladas)



Fonte: ABIFA (2020, p.2)

1.1. Objetivo Geral

Analisar os impactos da contaminação da areia com óleo hidráulicos no processo de fundição.

1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho em questão incluem a realização de procedimentos experimentais cujas finalidades são:

- a) Identificar e determinar a concentração de óleo na areia de fundição.
- b) Avaliar os impactos nas propriedades físicas da areia com uma contaminação conhecida.
- c) Quantificar a geração de gases durante o aquecimento da areia contaminada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A fundição

Nas palavras de Baldam e Vieira (2014), a fundição pode ser definida como o derramamento de um dado metal ou liga metálica em uma cavidade chamada de molde e cujo formato representa o tipo da peça.

Para Torre (2004), a fundição é o processo de obtenção de uma peça através do derramamento de um metal fundido em um molde que produz exatamente a forma de tais peças.

De acordo com Baldam e Vieira (2014), a fundição tem sua origem datada de 10.000 a.C. onde os povos confeccionavam seus enfeites de cobre nativo e batidos no formato desejado.

Segundo Aura e Moro (2007), o homem iniciou a fundição com metais de baixo ponto de fusão (Cobre, Bronze) e, após, com o ferro. Fundiam-se minérios de metais para confecção de armas e adornos em fornos rudimentares de pedras e cerâmicas.

Aura e Moro (2007), afirmam que a fundição dos materiais passou a ter um maior foco a partir de 1945, onde começaram a obter o ferro gusa. O ajuste nestes novos mecanismos de fundição como, aumento da temperatura, passou-se a exigir mais gás carbônico para transformação do metal. O carvão vegetal já não era suficiente para tal demanda.

Na Revolução Industrial, passou-se a utilizar o coque, que é um subproduto carbonáceo. Alcançado da transformação do carvão mineral em fornos, com ausência de ar, teor de enxofre e cinzas baixas. É utilizado como alternativa para o carvão vegetal. Acelerou-se este processo com a utilização dos fornos elétricos e a atualização dos processos (AURA; MORO, 2007).

Com essa mudança, o processo de fundição potencializou e possibilitou a criação de peças únicas e em série com diversos tamanhos e formas conforme a necessidade. Podendo ser peças complexas ou não, onde os ajustes estão vinculados aos seus moldes (TORRE, 2004).

Para Baldam e Vieira (2014), o processo de fundição foi considerado, no contexto fabril, o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica e o produto

semiacabado. Possibilitando uma utilização imediata da peça dependendo da sua aplicabilidade e seu grau de acabamento.

Uma fundição é uma instalação de fabricação que produz metal derretido em um molde de areia pré-formado para produzir o molde endurecido resultante, que se tornará o produto final. Os metais primários fundidos incluem ferro e aço da família dos ferrosos e alumínio, cobre, latão e bronze da família não-ferrosa (PRIBULOVÁ; GENGEĽ; BARTOŠOVÁ, 2010).

Baldam e Vieira (2014), afirmam que todas as atividades são fundamentais para uma boa execução do processo de fundição. As peças decorrentes deste processo sofrem uma atividade posterior, podendo ocasionar falhas em projetos.

Conforme Aura e Moro (2007), a fundição se sobressai das outras técnicas de fabricação por ser uma das mais versáteis, produzindo lingotes para laminação e forjamento. Quanto ao intercessor, produzindo peças semiacabadas que passarão por acabamento, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Esculturas fundidas



Fonte: Baldam e Vireira (2014, p.30)

Como pode ser observado na Figura 1, uma escultura resultante do processo de fundição que, posteriormente, será acabada e transformada em um bem durável.

2.1.1. História da fundição

A fundição é utilizada pelo homem há mais de 4 milênios. Segundo Ferreira (2010), indícios apontam que objetos de cobre, ouro, prata e ligas de cobre com provável origem no oriente datam de 7000 a 3000 A.C. Já as peças de bronze tiveram seu desenvolvimento entre 3000 e 1500 A.C.

Por volta de 1000 A.C., no Oriente Médio, a fundição era feita a partir de temperaturas mais elevadas obtidas em carvão soprado por fole. Este período foi nomeado como início da “Idade do Ferro”, onde foram fundidas as primeiras ferramentas, como mostrado na Figura 2. Os primeiros estudos científicos onde se estudava a resistência dos metais à rotura foram feitos por D.C. Galileu (ANDRADE, 2010).

Figura 2 - Ferramentas de ferro, "Idade do Ferro"



Fonte: Andrade (2010, p.17)

De acordo com Torre (2004), no início da revolução industrial houve um grande avanço na fundição com o surgimento cada vez maior de peças de metais, armas de fogo, utensílios de uso doméstico e outras infinidades de objetos metálicos. Assim, devido à alta demanda em 1710 D.C., na Inglaterra, o Coque substituiu o carvão mineral usado no “Alto Forno”. E a partir de 1750 até 1850 D.C., em toda a Europa, utiliza-se o “Alto Forno” moderno.

Sorby e iniciou-se em 1863 e em 1890 D.C., “F. Osmond” estuda o comportamento do ferro e as posições dos pontos críticos do diagrama de ferro e carbono, quando exposto a altas temperaturas.

2.2. Processo de fabricação na fundição

Fundição é um processo que permite a obtenção de peças de formas complexas, ou seja, é o processo de conformação de metais, que permite a maior liberdade de formas. As peças fundidas devem ter características dimensionais, mecânicas e físico-químicas (BALDAM; VIEIRA, 2013). A Figura 3 apresenta um bloco de motor fundido.

Figura 3 - Bloco de motor fundido



Fonte: BALDAM e VIEIRA, 2013, p.8.

Embora existam muitas novas tecnologias avançadas para fundição de metais, a fundição de areia verde continua sendo um dos processos de fundição mais utilizados devido ao baixo custo de matérias-primas, uma grande variedade de peças fundidas com relação ao tamanho e composição e a possibilidade de reciclagem a areia de moldagem (BALDAM; VIEIRA, 2013).

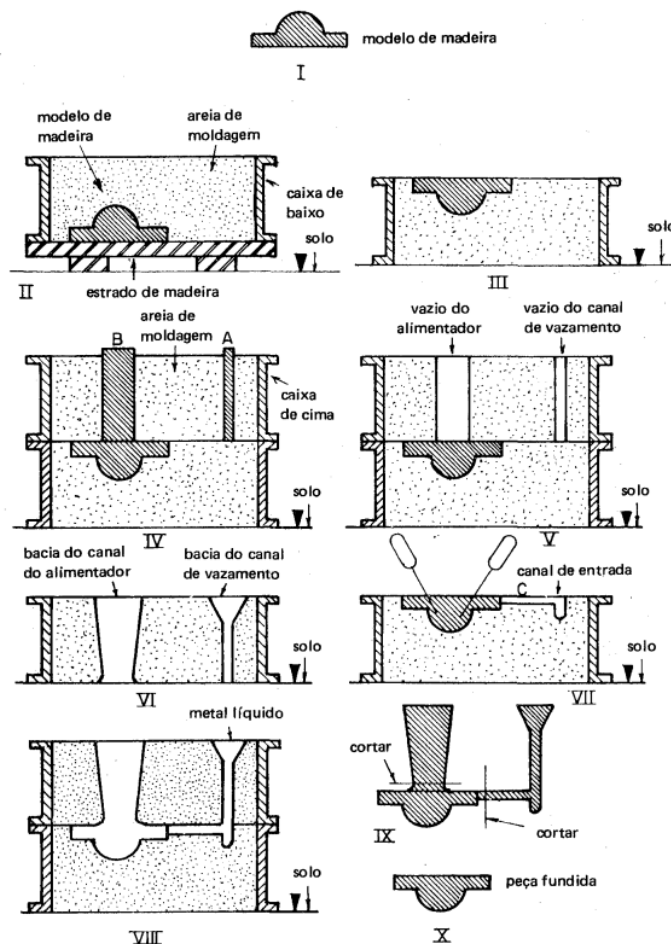
O processo de fundição de areia verde é um dos processos mais versáteis na fabricação porque é usado para a maioria dos metais e ligas com altas temperaturas de fusão, como ferro, cobre e níquel (LOPES; FERREIRA; DEZENA, 2004).

O processo de fundição de areia verde consiste em despejar metal derretido em um molde de areia, permitindo que o metal se solidifique, e depois quebrando o

molde de areia para remover o produto de fundição. Fundição de areia verde é usada para fabricar formas complexas de vários tamanhos, dependendo dos requisitos do cliente (LOPES; FERREIRA; DEZENA, 2004).

Os requisitos básicos de fundição são modelagem, preparar um molde, derramando um metal fundido, resfriamento do molde, agitação, *fettling*. As principais causas de rejeição em peças fundidas são devido a padrões inadequados, sistema inadequado de *gating*, controle de parâmetros de areia, composição inadequada de metal fundido. A Figura 4, esquematiza as etapas de fabricação de um molde em areia.

Figura 4 - Representação da sequência de moldagem para fundição em areia



Fonte: CHIAVERINI, 1986, p.19.

Numa primeira abordagem pode-se dizer que o modelo é fabricado em madeira e o molde e o macho em areia. Dessa forma, a partir de um modelo pode-se fabricar (n) moldes, cada molde dando origem a uma peça fundida.

2.2.1. Fundição em areia verde

A fundição em areia verde não recebe esse nome em função da cor da areia, mas sim por seu molde não receber nenhum tipo de tratamento de cura após a moldagem como ocorre em outros processos como *cold box* e *hot box* que recebem cura da resina pela passagem de gases e estufa térmica. No processo de areia verde após a mistura da areia, argila, água e alguns aditivos como carvão. Ela já está pronta para a moldagem e vazamento do metal.

A fundição em areia ou fundição em molde de areia é o processo mais utilizado em todo o mundo, em que mais de 70% das peças fundidas são produzidas por esse processo. Nesse processo é possível fabricar peças de ligas metálicas com alto ponto de fusão. É viável o uso de vários tipos de areia, sendo que a mais empregada é a areia verde (SIDDIQUE; SINGH, 2011).

2.2.2. Modelo

O processo de fundição começa pelo modelo que é uma cópia da peça que se deseja obter, pode ser fabricado em metal (alumínio e aço na maioria dos casos), madeira (cedro, pinus, compensado entre outros) e resinas do tipo epóxi, espuma de PU (poliuretano), gesso, compensado naval, ou uma peça já existente.

Segundo Rossitti (1993), o material em que o modelo é construído: modelos em isopor, modelos em madeira, modelos em plástico (epóxi), modelos em metal (alumínio – ferro – bronze). Os modelos do molde para a fabricação de peças fundidas podem ser feitos por alguns processos, que podem variar, uma vez que cada empresa adota um método melhor para seus fins, sendo assim esta etapa de modelação pode ser feita por modelos de isopor, de madeira, de plástico (epóxi), ou em metal como alumínio, ferro, bronze.

Empresas mais modernas que têm que produzir um grande número de peças utilizam matrizes ferramentais que fazem a confecção dos moldes em caixas de moldagem que são bipartidas e após a união da caixa superior e inferior recebem o metal líquido para a obtenção das peças.

Na Tabela 2 se tem as propriedades de alguns tipos de materiais de confecção de modelos.

Tabela 2 - Características de matérias para fabricação de modelos

Material / Propriedades	Madeira	Alumínio	Ferro fundido	Poliuretano
Maquinagem	Excelente	Boa	Razoável	Boa
Resistência ao desgaste	Fraca	Boa	Excelente	Excelente
Resistência mecânica	Fraca	Boa	Excelente	Fraca
Preparação	Excelente	Razoável	Boa	Excelente
Resistência a corrosão	Excelente	Excelente	Fraca	Excelente

Fonte: CAMARGOS, 2013, p.23.

Para se obter o molde da peça vazada, ou seja, (forma negativa do volume da peça) tem de se fazer uma moldação em material refratário compactado e com a forma do modelo. Geralmente tem a forma da peça com escala geométrica superior para compensar o fator de contração metálico no momento do resfriamento.

Segundo Ferreira (2010), geralmente o modelo é feito dos seguintes materiais: madeira, plástico, ou metal, consoante o número de moldações a produzir. Conforme a Figura 5 onde é representado um modelo de alumínio.

Figura 5 - Modelo de alumínio utilizado para a confecção de moldes



Fonte: FERREIRA, 2010, p.12.

2.2.3. Molde

Ao produzir uma peça metálica por meio de um processo de fundição, deve-se utilizar um molde no qual o metal líquido será vazado para que ele copie a sua forma geométrica. É possível produzir um molde de fundição de diversas maneiras, sendo, de um modo geral, constituídos de um material que seja capaz de suportar as altas temperaturas de fusão das ligas metálicas. Dentre estes materiais, as areias são bastante utilizadas, formando a classe dos moldes refratários (TÂMEGA, 2017).

Um molde de qualidade deve ter as seguintes características:

- Resistência mecânica para suportar o peso do metal.
- Resistência à erosão do metal líquido durante o vazamento.
- O molde deve gerar uma baixa geração de gases durante o vazamento.
- O molde deve permitir a passagem de gases gerados durante o vazamento de metal.
- O molde deve ser refratário o suficiente para resistir às altas temperaturas do metal e soltar-se com facilidade da peça após resfriamento.

2.2.4. Massalote

Um ponto a ser observado na construção do molde é o massalote que deve ser tecnicamente dimensionado, um massalote mal dimensionado pode afetar e gerar problemas durante a contração do metal. O massalote tem uma função muito importante para a produção de peças fundidas, ele é um sobre metal que é colocado estrategicamente em cima da peça desejada para evitar rechupes e ou vazios na peça ao decorrer da solidificação, e também para que os possíveis defeitos do processo na hora da solidificação se arrastem para o massalote porque ele vai ser o último a solidificar absorvendo esses possíveis defeitos.

O massalote é usado para repor o metal que se contrai dentro do molde, ou seja, garantir o completo preenchimento da cavidade do molde. Ele deve ser colocado em locais estratégicos e ter massa proporcional à da peça.

Ao massalote são requeridas algumas propriedades para que este seja efetivo.

- Deve ter peso mínimo em relação à peça para maximizar o rendimento metálico.
- Estar localizado junto aos pontos quentes e solidificando-se após a peça assegurando assim a alimentação de todas as partes afetadas pela contração.
- Atuar com pressão máxima durante a solidificação para que o metal seja forçado a preencher a zona quente da peça.
- Contar metal suficiente para compensar a contração.
- Onde se depositam as impurezas (gases, tinta, areia, etc.)

Na Figura 6 mostra um corte longitudinal de um massalote.

Figura 6 - Imagem de corte longitudinal de um massalote evidenciando a bolha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

2.2.5. Canais de alimentação

Outros pontos que devem ser observados na construção do molde devem ser os canais de descida e o canal de entrada que fazem a ligação necessária para o vazamento do metal para o interior do molde. O dimensionamento correto desses canais garante a qualidade da peça, pois garante o enchimento correto dos moldes.

Os canais de vazamento são os que vão conduzir o metal líquido até o interior do molde para a fabricação da peça fundida. Ele tem função de diminuir a pressão do metal líquido quando este a penetrar dentro do molde, permitindo um enchimento mais homogêneo.

- Juntamente com o canal de entrada, conduz o metal fundido até o molde.
- É moldado por meio de “modelo” simples na caixa superior.
- Ele tem função de diminuir a pressão do metal líquido quando este a penetrar dentro do molde, permitindo um enchimento mais homogêneo.

As relações de áreas dos canais são representadas por três números, conforme o exemplo abaixo, sendo que o menor representa a seção de estrangulamento do sistema, também conhecido como seção de choque (MARIOTTO; ALBERTIN; FUOCO, 1987).

Relação 1:1:1

Onde o primeiro número representa a área transversal do canal de descida, o segundo para o canal de distribuição e o terceiro do canal de ataque.

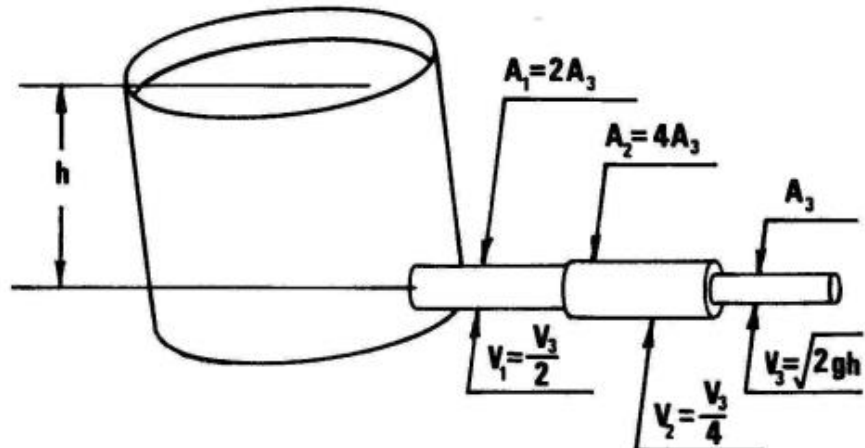
De acordo com as relações de áreas em uso no sistema de canais o mesmo pode ser do tipo pressurizado ou despressurizado, onde:

Sistema pressurizado: 1:08:0,6, neste exemplo a seção dos canais vai diminuindo, aumentando assim a pressão do metal na entrada da cavidade do molde.

Sistema divergente: 1:4:4, neste exemplo a seção dos canais vai aumentando, diminuindo assim a pressão na entrada do molde.

A Figura 7 apresenta de um canal na relação 2:4:1 utilizado na fundição de ferro nodular.

Figura 7 - Representação de canal de alimentação.



Fonte: WEBSTER, 1980, p.25.

A Seguir na Tabela 3 se tem uma relação sugerida desses canais para algumas ligas.

Tabela 3 - Relação de áreas de canais sugeridas para várias ligas

LIGAS	RELAÇÕES DE ÁREAS
Bronze ao alumínio	1 : 2,88 : 4,8
Ferros fundidos	1 : 0,75 : 0,5
	1 : 0,9 : 0,7
	1 : 0,9 : 0,5
	1 : 1,2 : 9
	1 : 0,8 : 0,6
Ferro fundido maleável	1 : 0,5 : 2,45
	1 : 0,67 : 1,67
Aços	1 : 0,8 : 0,6
	1 : 1 : 1
	1 : 2 : 2
Latão	1 : 2 : 1
	1 : 2,88 : 4,8
Alumínio	1 : 4 : 4
	1 : 6 : 6
	1 : 2,2 : 2
	1 : 2 : 1
Magnésio	1 : 4 : 4
	1 : 2 : 2
Ferro fundido nodular	2 : 4 : 1

Fonte: FUOCO, 2020, p.76.

2.2.6. Fusão

Após o término da moldagem e montagem da caixa o molde está preparado para receber o metal líquido. A fusão do metal é uma das etapas mais importantes durante o processo de fundição, ele transforma o metal sólido em líquido para que se possa fazer o vazamento nos moldes. Também se deve tomar o cuidado de escolher o tipo de forno a ser utilizado, pois cada um se adequa melhor a cada tipo de metal a ser fundido.

Tipos de fornos de fusão:

- Fornos Cubilô
- Fornos Elétricos a Arco
- Fornos Elétricos por Indução
- Fornos Elétricos por Resistência

2.2.7. Vazamento

Consiste na operação de verter o metal líquido na cavidade do molde, esta etapa de muita importância para obtenção de peças de qualidade, pois vários fatores como, temperatura de vazamento, velocidade de vazamento e altura do vazamento e constância interferem diretamente no produto.

Segundo Guesser e Masiero (2009), é a etapa da fundição onde vaza-se o metal líquido na caixa de moldação junto o molde o metal é derramado por uma “panela” na cavidade do molde denominado bacia de vazamento, onde a penetração do metal é feita por gravidade até a borda do molde. Nesta etapa alguns cuidados devem ser tomados:

- Limpeza das panelas de vazamento, para que não haja inclusão de material refratário no metal.
- A temperatura do metal precisa estar dentro da norma quando retirado do forno até o momento do vazamento, pois a baixa temperatura poderá ocasionar formação de bolhas na peça e se for muito alta pode ocorrer a sinterização de areia nas peças. Todavia a temperatura deve estar entre 1300 e 1500 °C para aço e ferro.

- A velocidade do vazamento, quando muito baixa, provoca defeitos de expansão e quando muito alta provoca erosão na areia.

O processo acima pode ser mais bem compreendido a partir da Figura 8.

Figura 8 - Vazamento de metal líquido no molde



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

2.2.8. Desmoldagem

De acordo com Groover (2014), a desmoldagem é o procedimento no qual a peça já solidificada é retirada de dentro do molde, para que ocorra tal processo o molde é quebrado, inicia-se então a separação da areia do conjunto metálico.

Neste processo alguns cuidados devem ser tomados, como:

- Retirar a peça na temperatura adequada, pois em contato com o ar pode ocasionar trincas, devido ao choque térmico resultante da peça muito quente com o ar mais frio.
- Evitar batidas na peça enquanto a temperatura ainda estiver alta, pode ocasionar trincas comprometendo a qualidade e resistência do objeto fundido.

2.2.9. Rebarbação e limpeza

A rebarbação, segundo Guesser (2009), é o processo em que ocorre a retirada dos canais rebarbas e sobre metal das peças fundidas, ele é feito quando a temperatura está se aproximando a ambiente. Em seguida inicia-se a limpeza, que é necessária devido às incrustações de areia que ainda ficam presas ao objeto fundido, sua limpeza normalmente é feita por ferramentas abrasivas, (lixadeira, retífica, lima rotativa e esmeril).

Após concluído todo o processo o objeto fundido quando necessário vai para o centro de usinagem, onde passa por pós processamento conforme a necessidade do requisitante. Em seguida encontra-se pronto para uso.

2.2.10. Permeabilidade

A permeabilidade é a capacidade do molde tem de permitir a passagem dos gases durante o vazamento do metal na cavidade, essa propriedade deve ser muito bem controlada já que moldes com baixa permeabilidade podem gerar a retenção de gases no interior da cavidade gerando defeitos no produto final e em casos mais extremos até mesmo a explosão dos moldes gerando graves acidentes.

Os fatores que influenciam a permeabilidade são, a granulometria da areia, a umidade, a compactação durante a moldagem, o aglomerante utilizado (argila, bentonita) e a presença de contaminantes.

2.2.11. Cálculo da permeabilidade (procedimento conforme ABIFA)

Para a realização deste teste são retiradas amostras de areia dos misturadores de tempos em tempos e enviadas para o laboratório de areia onde ocorre a moldagem do corpo de prova e teste no permeâmetro que se vê na Figura 09.

Figura 09 - Foto ilustrativa de um permeâmetro de areia



Fonte: ABIFA, 2015, p.3.

O resultado do teste de permeabilidade é dado pela seguinte equação (1);

$$P = \frac{V_a \times h}{p \times a \times t} \text{Eq. (1)}$$

Onde:

P = permeabilidade, em $\text{cm}^4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$;

V_a = volume de ar deslocado no domo do aparelho, em cm^3 ;

h = altura do corpo de prova, em cm;

p = pressão no manômetro do aparelho, em g/cm^2 ;

a = área da secção transversal do corpo de prova, em cm^2 ;

t = tempo decorrido do deslocamento do domo do aparelho, em minutos.

Valores ideais de permeabilidade são superiores a $90 \text{ cm}^4 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, valores inferiores a esse uma dificuldade de desprendimento de gases no interior do molde, o que irá gerar defeitos de bolhas e porosidade nas peças já que esses gases ficariam presos no interior do molde.

Para corrigir desvios nos valores encontrados neste teste deve se atentar para as proporções de areia novas e reutilizada, granulometria da areia, umidade, adição de aditivos e eficiência da mistura.

2.3. Porosidade

Defeitos de fundição podem ser definidos como sendo qualquer descontinuidade em relação à qualidade especificada para a peça fundida. Devido ao número de variáveis envolvidas, é muito comum a ocorrência de defeitos advindos deste processo (NUNES, 2013).

Segundo Guessser (2009, p.22) a porosidade ocorre muitas vezes na superfície da peça e é causada devido à diminuição da solubilidade dos gases. Para que não ocorra porosidade nas peças é preciso uma boa liberação dos gases, com isso a pressão dos gases tem que ser adequada para esse procedimento. A porosidade aparece geralmente no interior da peça, pode-se encontrar porosidade agrupada quando ocorrerem de menor tamanho ou isoladas quando de um tamanho maior, esse defeito pode ocorrer em qualquer região da peça.

Fatores que favorecem a formação de bolhas em peças fundidas:

- Excesso de água livre
- Umidade elevada
- Permeabilidade inadequada
- Excessivo teor de voláteis
- Contaminação da areia de fundição

As causas desses fatores são relacionadas aos seguintes itens, baixa eficiência na mistura dos componentes (areia, argila e água), baixo teor de adição de areia nova na mistura, excesso de argila/finos inertes, adição insuficiente de areia base às misturas, uso de areia base muito fina ou excessivamente grossa, grau de

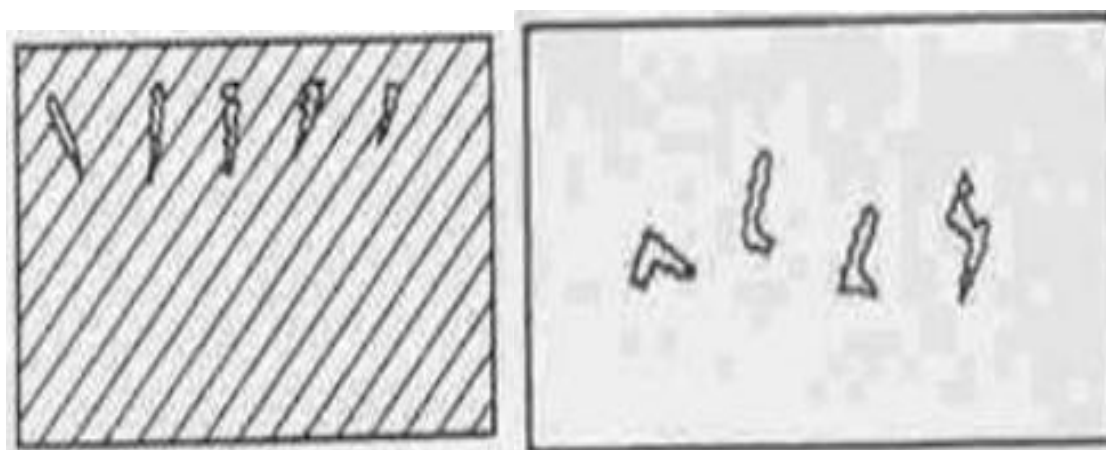
compactação dos moldes muito baixo ou elevado demais, adição demasiada de aditivos carbonáceos, mau dimensionamento dos canais de descida e enchimento contaminação da areia.

Hoje, existe uma grande variedade de ferramentas e condutas que auxiliam no controle do processo de fundição, permitindo prever descontinuidades associadas aos processos de moldagem, enchimento e solidificação do metal no molde. Com essas ferramentas é possível prever e evitar falhas e como isso aumenta a produtividade, uma vez que ocorre a diminuição de perdas no processo.

Os Rechupes dispersos também conhecidos na literatura como Vírgula (*Comma*), é um defeito que se apresenta, na maioria dos casos, como poros estreitos na forma de trincas, que aparecem na superfície das peças e na maioria das vezes são perpendiculares à mesma. A largura dos defeitos pode ser de alguns milímetros.

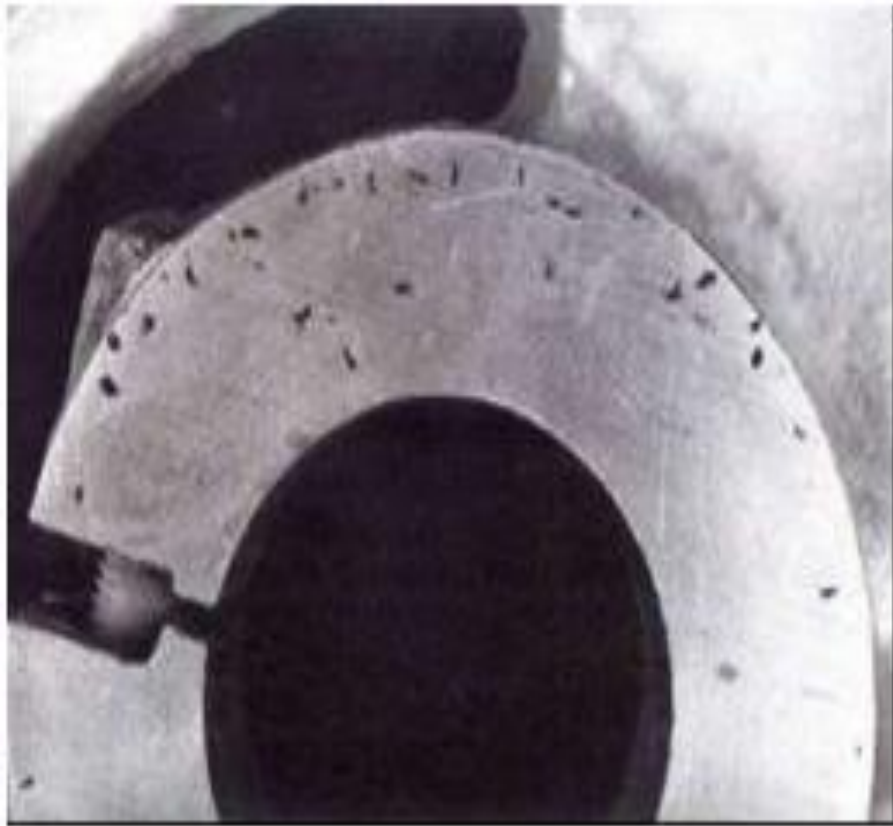
Os poros em forma de trincas de até 2 mm de profundidade, na maioria dos casos perpendiculares à superfície das peças, muitas vezes apresentam estruturas dendríticas na superfície. Os defeitos podem aparecer na superfície ou nos cantos dos moldes, mas também na superfície de machos. Os poros na forma de trincas se formam em razão da separação de gases (nitrogênio) durante a solidificação. Uma separação simultânea de hidrogênio pode acentuar ainda mais este defeito. (DAGNESE, 2008). Nas Figuras 10 e 11 há exemplos desses defeitos.

Figura 10 - Característica do defeito tipo rechupe disperso



Fonte: DAGNESE, 2008, p.50.

Figura 11 - Defeito tipo vírgula



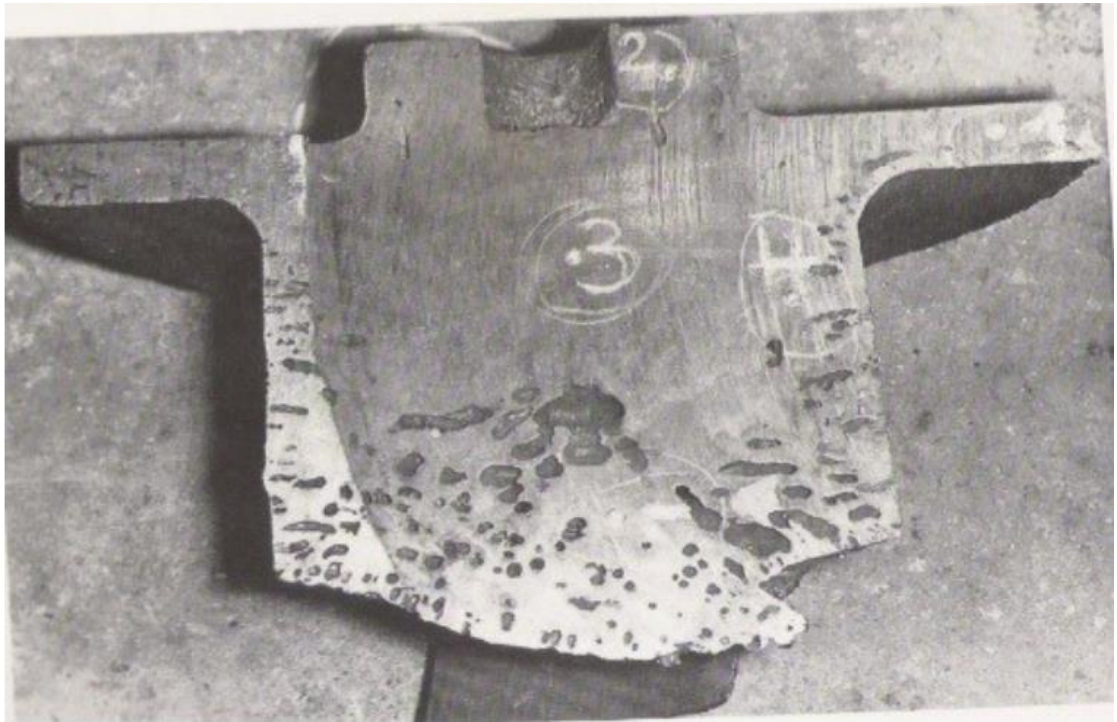
Fonte: DAGNESE, 2008, p.50.

2.4 Contaminação de óleo

Segundo Miller (2022), a moldagem automática de alta pressão é muito utilizada nas fundições modernas. Estes equipamentos podem produzir moldes mais duros e mais densos em níveis mais baixos de umidade e fornecer fundidos com melhores tolerâncias dimensionais; contudo esses sistemas também exigem um aperto mais rígido na areia. As máquinas de moldagem de alta pressão usam cilindros hidráulicos para atingir a dureza necessária do molde. O óleo hidráulico pode entrar em um sistema de areia verde através destes cilindros hidráulicos ou vários outros equipamentos no processo de moldagem que utilizam óleo ou graxa.

Segundo a TECHNOFUND (2020, p.32) alguns defeitos de fundição como, bolhas de gás, sopros e ferveras de origens exógenas (que provém de fora do metal), são causadas por essa contaminação, já que elas aumentam o teor de voláteis na areia de fundição. Na Figura 12 tem um exemplo desse defeito.

Figura 12 – Peça fundida com defeito de bolhas



Fonte: Technofund, 2020, p32.

Para identificar esse tipo de contaminação na areia de fundição e diminuir e os seus impactos são indicados os ensaios para identificação da contaminação e determinação de volume e pressão de gases gerados nessa areia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Estudo de caso

Este trabalho quantificou a presença de óleo uma amostra de areia verde proveniente de linhas de moldagem automáticas, objetivando estudar o nível destes contaminantes e identificar os impactos dele nas propriedades da areia.

3.2. Obtenção da amostra

Foi realizada a obtenção da amostra de areia a partir do processo de mistura diretamente da linha produtiva, a fim de mostrar a diferença das propriedades de uma areia não contaminada para uma areia contaminada.

3.3. Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a os ensaios são os seguintes:

- Balança eletrônica semi-analítica com capacidade de 320g, sensível a 0,001g, modelo ED 32350CE marca
- Estufa da marca SOC. FABBER, potência de 2500W e aquecimento até 450°C
- Dessecador de Vidro Completo Com Tampa Luva e Disco de Porcelana 300mm – Marca Biocentrix
- Papel filtro faixa azul (filtração lenta)
- Pisseta
- Béquer
- Acetona
- Navícula para o ensaio;
- Almofariz de porcelana ou ágata
- Aparelho determinador de gases DVG (representado na Figura 13)
- Computador

Figura 13 – Aparelho determinador de gases DVG

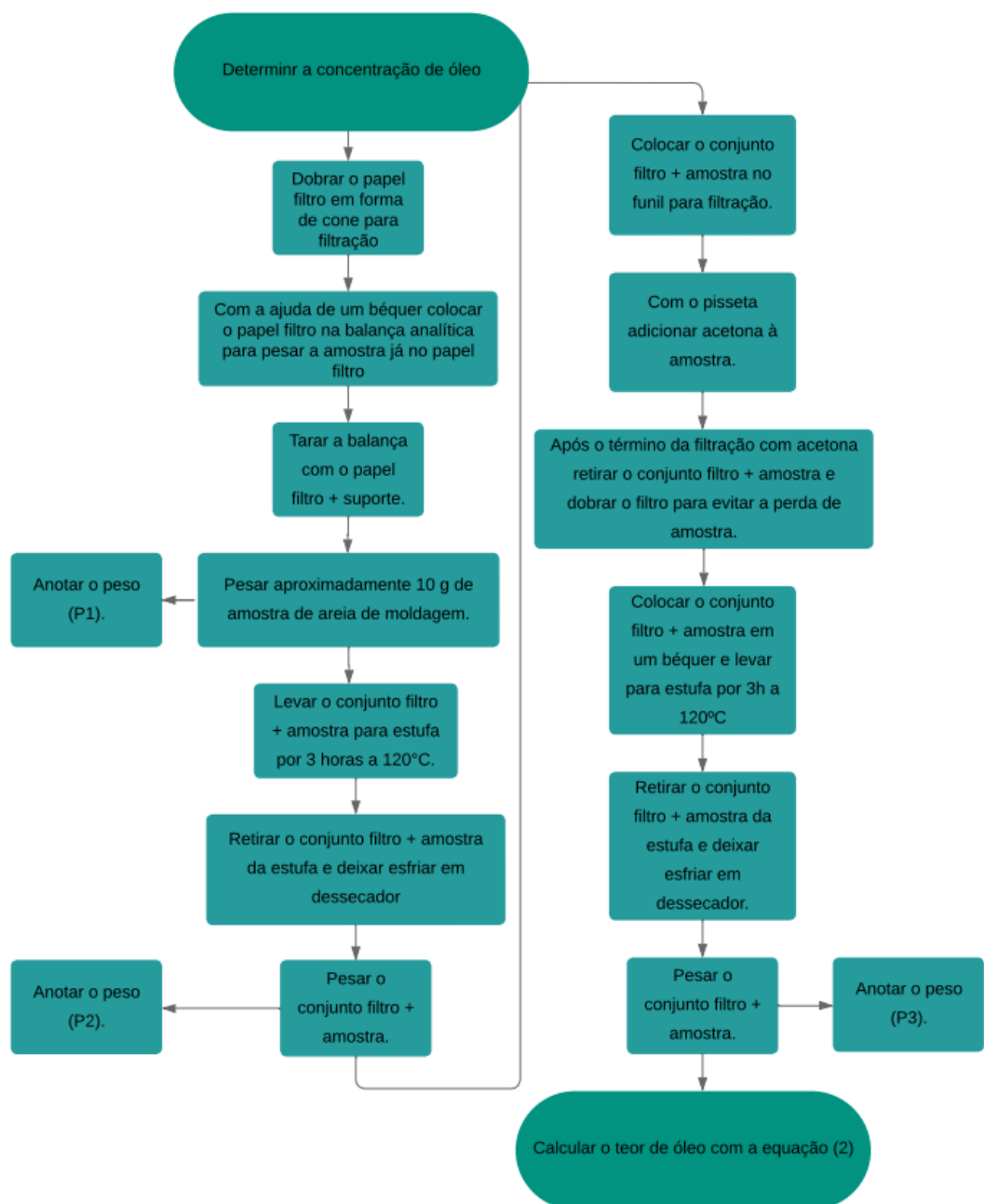


Fonte: Technofund, 2020.

3.3. Determinação da concentração de óleo

O passo a passo do procedimento para determinação da concentração da contaminação de óleo:

Figura 14 – Fluxograma do ensaio de concentração de óleo



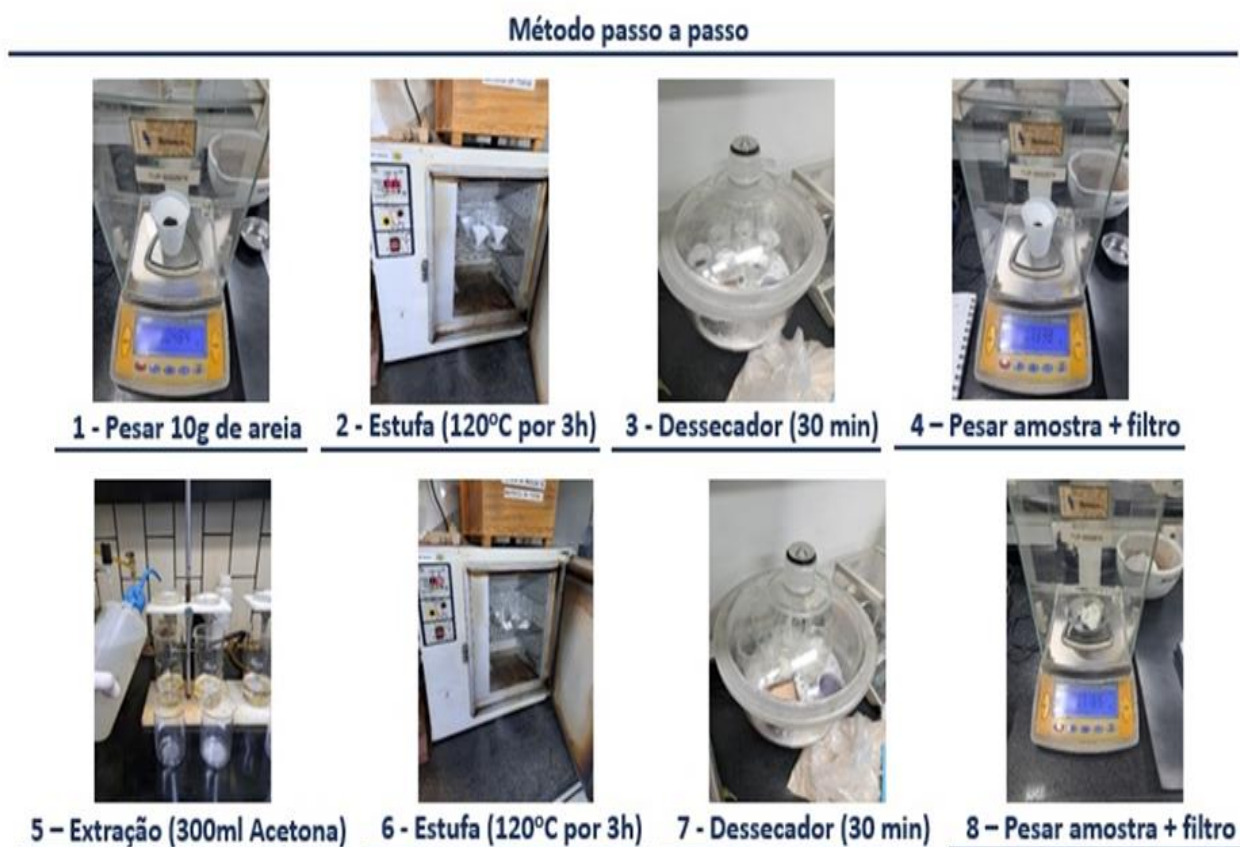
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Após o procedimento se pode calcular a concentração de óleo na areia pela equação 02:

$$\text{Teor de óleo (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial (P2)} - \text{Peso final (P3)})}{\text{Peso da amostra (P1)}} * 100 \text{ (Eq.02)}$$

Na Figura 15 apresenta-se o método passo a passo do ensaio.

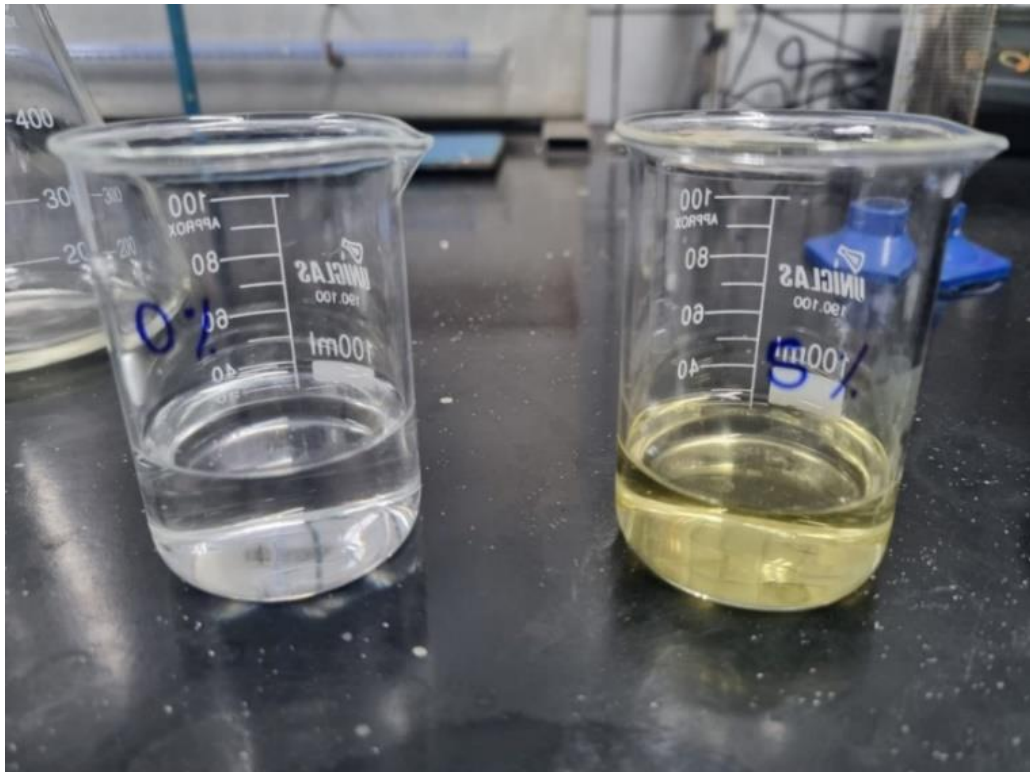
Figura 15 – Etapas do ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Figura 16 apresenta o resultado obtido na extração de uma amostra com 0% de contaminação e com uma amostra com 5% de contaminação de óleo, onde a amostra com 0% acetona permanece incolor e na amostra com 5% de contaminação de óleo apresenta uma coloração amarelada.

Figura 16 – Resultado com 0% e 5% de óleo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3.4. Avaliação das propriedades da areia com a adição de 3% de óleo

Realizados os testes com uma concentração de contaminação conhecida para avaliar o impacto gerado nas propriedades da areia.

Testes feitos em ambiente de laboratório, com tempo de remistura de 2 minutos, adição dos aditivos foi seguindo a mesma proporção em % de areia, bentonita, carvão e água utilizado na produção para a capacidade do misturador do laboratório (3 kg) e realizado duas coletas de areia no intervalo de duas horas.

Primeiramente foram avaliadas as propriedades da areia coletada diretamente no silo de areia da máquina sem a contaminação do óleo e realizada a preparação e os ensaios, posteriormente foi realizado a adição de 3% de óleo e realizada uma remistura da areia e refeitos os ensaios laboratoriais para a avaliação das características do corpo de prova.

Os resultados obtidos pelos ensaios das amostras são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades da areia nos corpos de prova

CARACTERÍSTICAS	Resultado da 1ª Coleta		Resultado da 2ª Coleta	
	Sem óleo	3% de óleo	Sem óleo	3% de óleo
Permeabilidade (AFS)	115	68	106	67
R.C.V. (N/cm ²)	27,3	21,4	25,63	21,93
Compactabilidade (%)	40	47	38	44
Teor de Voláteis Real (%)	0,88	3,57	0,8	3,62

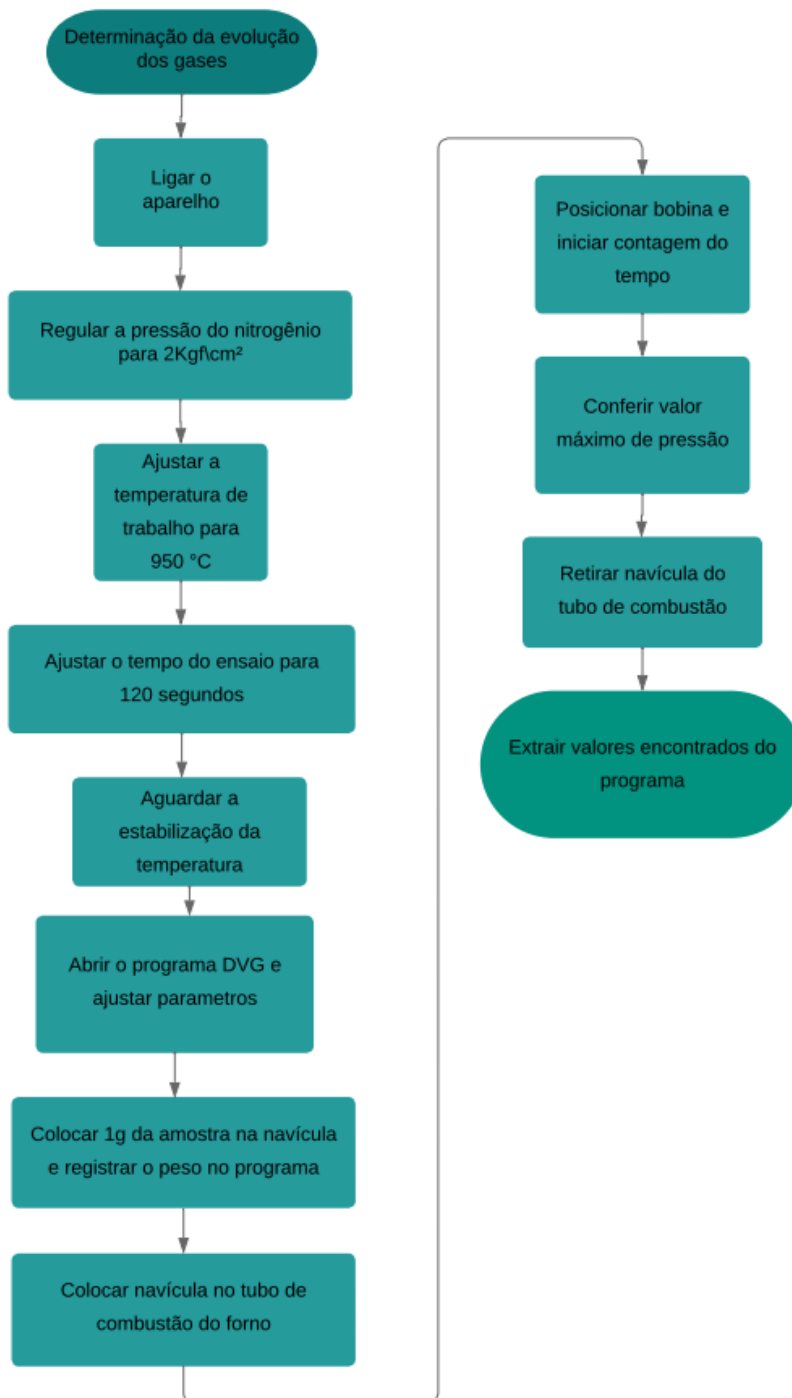
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com o resultado desse teste pode-se observar a alteração de diversas características do corpo de prova, como a redução da permeabilidade que é a capacidade de permitir a saída dos gases que durante o vazamento vai gerar uma saída mais lenta dos gases e do ar do interior do molde podendo levar a retenção de gases no interior do molde e defeitos de porosidade. Se tem uma redução do R.C.V. que é Resistência à Compressão a Verde dada pela máxima tensão de compressão que um corpo padronizado é capaz de suportar. Essa redução pode levar aos defeitos de quebra de molde, causando falhas de forma dimensional e areia no interior das peças fundidas. A compactabilidade foi aumentada e ela é a porcentagem de deformação apresentada pela areia durante a moldagem, com isso pode haver problemas dimensionais já que o molde será mais deformado e assim terá suas dimensões alteradas. O corpo de prova também apresentou um aumento no teor de voláteis reais, que geram uma maior quantidade de gases no interior do molde durante o vazamento, podendo gerar problemas de porosidade.

3.5. Determinação da evolução dos gases

Para a realização da determinação da evolução dos gases foram seguidos os passos conforme fluxograma da Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma do ensaio de evolução de gases



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Geração de gases na areia de moldagem contaminada com diferentes percentuais de óleo

Foi realizada a avaliação da geração de gases a partir do aquecimento dos corpos de prova a 950°C conforme a orientação da Comissão de Estudos de Matérias Primas (CEMP 106 e CEMP 119) da ABIFA com diferentes níveis de contaminação de óleo para se conhecer o volume e pressão dos gases gerados esse aquecimento, simulando o procedimento de vazamento do metal líquido no interior do modelo.

Os testes de pressão e volume de gases nas amostras de areia de moldagem contaminada conforme Tabela 5 e Tabela 6.

Para o teste de volume/tempo foram encontrados os valores da Tabela 5;

Tabela 5 – Volume dos gases em ml

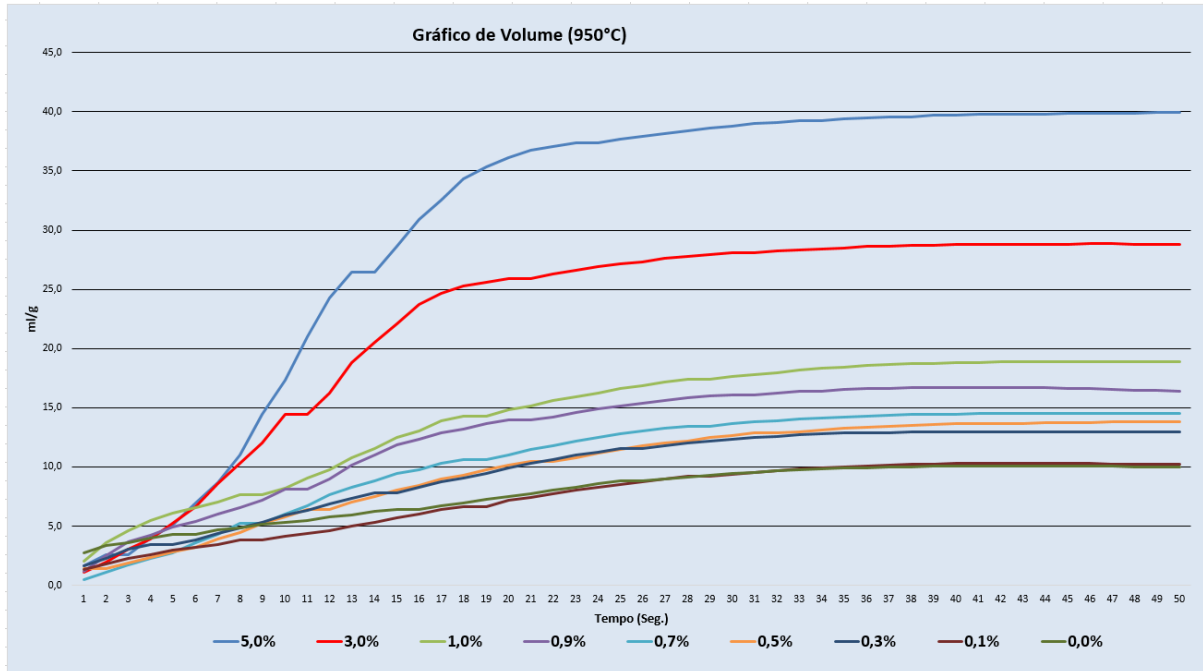
VALORES DE VOLUME (ml)									
TEMPO (Seg.)	Percentuais de óleo na areia de moldagem								
	5,0%	3,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%
1	1,7	1,1	2,0	1,2	0,5	1,4	1,6	1,4	2,7
2	2,6	1,9	3,6	2,5	1,1	1,4	2,3	1,8	3,4
3	2,6	3,0	4,6	3,7	1,7	1,9	3,0	2,3	3,6
4	3,9	3,9	5,4	4,2	2,2	2,4	3,4	2,6	4,0
5	5,1	5,3	6,1	4,9	2,8	2,8	3,4	3,0	4,3
6	6,9	6,6	6,6	5,4	3,6	3,2	3,8	3,2	4,3
7	8,6	8,6	7,0	6,0	4,3	3,9	4,4	3,5	4,7
8	11,0	10,3	7,7	6,6	5,3	4,4	4,8	3,8	4,9
9	14,4	12,1	7,7	7,2	5,3	5,2	5,3	3,8	5,1
10	17,3	14,4	8,2	8,1	6,0	5,8	5,9	4,1	5,3
11	21,0	14,4	9,1	8,1	6,7	6,4	6,3	4,4	5,5
12	24,3	16,2	9,8	9,0	7,6	6,4	6,9	4,6	5,7
13	26,5	18,8	10,8	10,2	8,2	7,1	7,3	5,0	5,9
14	26,5	20,5	11,5	11,0	8,9	7,5	7,8	5,3	6,2
15	28,7	22,1	12,5	11,9	9,4	8,1	7,8	5,7	6,4

VALORES DE VOLUME (ml)									
TEMPO (Seg.)	Percentuais de óleo na areia de moldagem								
	5,0%	3,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%
16	30,9	23,7	13,1	12,4	9,8	8,4	8,3	6,0	6,4
17	32,5	24,6	13,9	12,9	10,3	9,0	8,7	6,4	6,7
18	34,3	25,2	14,3	13,2	10,7	9,3	9,1	6,7	7,0
19	35,3	25,6	14,3	13,7	10,7	9,7	9,4	6,7	7,3
20	36,1	25,9	14,8	14,0	11,0	10,2	9,9	7,2	7,5
21	36,8	25,9	15,2	14,0	11,5	10,5	10,3	7,4	7,7
22	37,1	26,3	15,6	14,2	11,8	10,5	10,6	7,7	8,0
23	37,4	26,6	15,9	14,6	12,2	10,8	11,0	8,0	8,3
24	37,4	26,9	16,2	14,9	12,5	11,2	11,2	8,2	8,6
25	37,6	27,1	16,6	15,2	12,8	11,4	11,6	8,5	8,8
26	37,9	27,3	16,8	15,4	13,0	11,8	11,6	8,7	8,8
27	38,1	27,6	17,2	15,6	13,2	12,0	11,8	8,9	9,0
28	38,4	27,8	17,4	15,8	13,4	12,2	12,0	9,2	9,1
29	38,6	27,9	17,4	16,0	13,4	12,5	12,2	9,2	9,3
30	38,8	28,1	17,6	16,1	13,6	12,6	12,3	9,4	9,4
31	39,0	28,1	17,8	16,1	13,8	12,8	12,5	9,5	9,5
32	39,1	28,3	18,0	16,2	13,9	12,8	12,6	9,7	9,7
33	39,3	28,3	18,2	16,4	14,0	13,0	12,7	9,8	9,8
34	39,3	28,4	18,3	16,4	14,2	13,1	12,8	9,9	9,8
35	39,4	28,5	18,4	16,5	14,2	13,3	12,9	10,0	9,9
36	39,5	28,6	18,6	16,6	14,3	13,4	12,9	10,1	9,9
37	39,5	28,7	18,6	16,7	14,4	13,5	12,9	10,2	10,0
38	39,6	28,7	18,7	16,7	14,4	13,5	12,9	10,2	10,0
39	39,7	28,7	18,7	16,7	14,4	13,6	13,0	10,2	10,0
40	39,7	28,8	18,8	16,7	14,5	13,6	13,0	10,3	10,1
41	39,8	28,8	18,8	16,7	14,5	13,7	13,0	10,3	10,1
42	39,8	28,8	18,9	16,7	14,5	13,7	13,0	10,3	10,1
43	39,8	28,8	18,9	16,7	14,5	13,7	13,0	10,3	10,1
44	39,8	28,8	18,9	16,7	14,5	13,7	13,0	10,3	10,1
45	39,8	28,8	18,9	16,6	14,5	13,8	13,0	10,3	10,1
46	39,9	28,8	18,9	16,6	14,5	13,8	13,0	10,3	10,1
47	39,9	28,8	18,9	16,5	14,5	13,8	13,0	10,2	10,0
48	39,9	28,8	18,9	16,5	14,5	13,8	13,0	10,2	10,0
49	39,9	28,8	18,9	16,5	14,5	13,8	12,9	10,2	10,0
50	39,9	28,8	18,9	16,4	14,5	13,8	12,9	10,2	10,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No gráfico 2 se tem a representação gráfica dos valores de volume obtidos.

Gráfico 2 – Geração de gases



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Tabela 5 e no Gráfico 2 pode-se verificar o volume de geração dos gases provenientes da contaminação por óleo, quanto maior a porcentagem de óleo maior o volume de gás gerado pelo corpo de prova.

Também foi avaliada a pressão desses gases gerados, da mesma maneira considerando diferentes percentuais de óleo na amostra, conforme Tabela 6;

Tabela 6 – Pressão dos gases em mbar

VALORES DE PRESSÃO (mbar)									
TEMPO (Seg.)	Percentuais de óleo na areia de moldagem								
	5,0%	3,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%
1	7,8	9,0	13,3	11,8	4,5	6,7	10,1	8,6	14,6
2	12,1	12,8	20,0	16,0	7,4	8,7	12,2	10,3	16,4
3	18,5	18,3	24,3	19,8	8,9	10,6	14,2	12,2	18,0
4	23,9	23,0	27,1	22,0	12,1	12,5	16,1	13,5	19,3
5	30,1	28,4	29,3	24,3	14,8	14,5	17,9	14,7	20,5
6	40,5	35,4	31,4	25,8	16,9	17,5	20,5	16,0	21,6

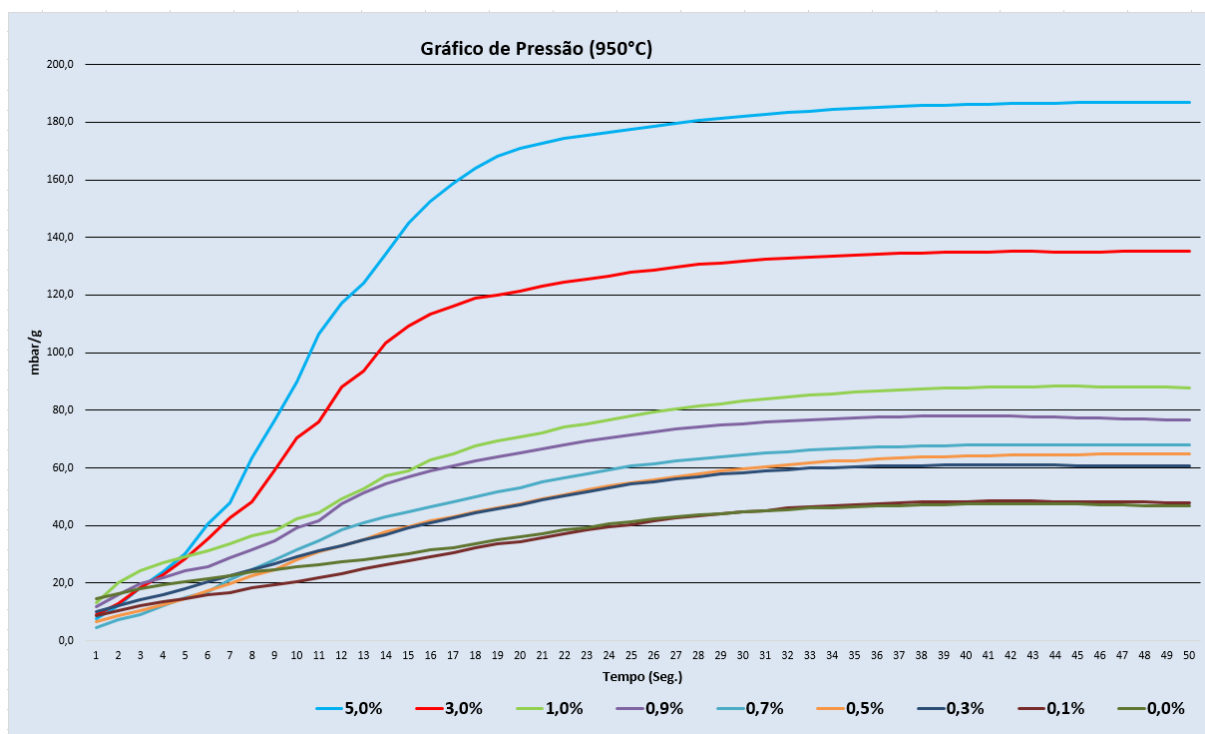
VALORES DE PRESSÃO (mbar)									
TEMPO (Seg.)	Percentuais de óleo na areia de moldagem								
	5,0%	3,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%
7	48,0	42,8	33,5	28,9	21,1	19,9	22,6	16,7	22,5
8	63,4	48,1	36,5	31,5	24,6	22,6	24,8	18,3	23,8
9	76,6	59,3	38,2	34,6	28,2	24,6	26,9	19,4	24,6
10	89,9	70,5	42,3	39,3	31,6	28,2	29,1	20,6	25,6
11	106,3	76,1	44,5	41,8	34,8	30,8	31,1	21,8	26,5
12	117,3	88,1	49,2	47,5	38,6	33,1	33,1	23,1	27,3
13	124,0	93,5	52,7	51,2	40,9	35,2	35,0	25,0	28,2
14	134,3	103,5	57,1	54,3	42,9	37,8	36,8	26,4	29,2
15	144,9	109,4	59,1	56,9	44,7	39,6	39,3	27,7	30,1
16	152,5	113,5	62,8	59,0	46,5	41,5	41,0	29,1	31,6
17	158,9	116,3	64,7	60,7	48,2	43,1	42,6	30,4	32,3
18	164,1	118,8	67,5	62,4	49,9	44,7	44,3	32,2	33,8
19	168,1	120,0	69,2	63,8	51,6	46,3	45,8	33,7	34,9
20	171,0	121,4	70,8	65,1	53,2	47,7	47,3	34,5	36,0
21	172,6	123,2	72,3	66,7	55,2	49,2	48,9	35,8	37,2
22	174,4	124,5	74,2	68,0	56,6	50,6	50,3	37,3	38,6
23	175,6	125,7	75,1	69,2	58,0	52,5	51,6	38,5	39,3
24	176,4	126,7	76,6	70,4	59,2	53,7	53,1	39,4	40,5
25	177,7	127,8	78,2	71,5	60,7	54,9	54,3	40,4	41,4
26	178,7	128,8	79,4	72,5	61,5	55,9	55,2	41,5	42,2
27	179,7	129,6	80,4	73,5	62,3	57,0	56,3	42,6	42,9
28	180,5	130,6	81,4	74,2	63,0	57,9	56,9	43,2	43,6
29	181,4	131,2	82,3	74,8	63,9	58,8	57,8	44,0	44,1
30	182,2	131,8	83,2	75,2	64,6	59,6	58,2	44,9	44,6
31	182,8	132,4	83,9	75,8	65,2	60,3	59,0	45,2	45,1
32	183,4	132,8	84,6	76,3	65,6	60,9	59,4	46,0	45,5
33	183,9	133,1	85,2	76,6	66,1	61,7	59,9	46,5	46,0
34	184,5	133,5	85,7	77,0	66,5	62,3	60,1	46,9	46,3
35	184,7	133,9	86,3	77,4	66,9	62,6	60,4	47,3	46,5
36	185,1	134,3	86,7	77,6	67,3	63,1	60,6	47,6	46,8
37	185,4	134,5	87,1	77,8	67,4	63,4	60,7	47,9	47,0
38	185,8	134,6	87,4	77,9	67,7	63,7	60,8	48,1	47,2
39	186,0	134,8	87,6	78,0	67,8	63,9	60,9	48,3	47,3
40	186,2	135,0	87,8	78,1	68,0	64,2	60,9	48,3	47,5
41	186,3	135,0	88,1	78,0	68,1	64,2	60,9	48,4	47,5
42	186,5	135,1	88,2	77,9	68,1	64,4	60,9	48,4	47,5
43	186,6	135,1	88,2	77,8	68,1	64,4	60,9	48,4	47,5
44	186,7	135,0	88,3	77,6	68,1	64,5	60,9	48,3	47,5

VALORES DE PRESSÃO (mbar)									
TEMPO (Seg.)	Percentuais de óleo na areia de moldagem								
	5,0%	3,0%	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%
45	186,8	135,0	88,3	77,4	68,1	64,6	60,8	48,3	47,4
46	186,9	135,0	88,2	77,2	68,1	64,7	60,8	48,3	47,2
47	186,9	135,1	88,2	77,1	68,1	64,7	60,8	48,2	47,2
48	187,0	135,1	88,1	76,9	68,0	64,8	60,7	48,1	47,0
49	187,0	135,1	88,1	76,7	68,0	64,9	60,7	48,0	46,9
50	187,0	135,1	87,9	76,6	68,0	64,9	60,6	48,0	46,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No Gráfico 3 se tem a representação gráfica dos valores de pressão obtidos.

Gráfico 3 – Pressão dos gases



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na Tabela 6 e no Gráfico 3 observa-se a pressão dos gases provenientes da contaminação por óleo.

Esses valores encontrados eram esperados, pois com o aquecimento de óleo há uma geração de gases e com o aumento da temperatura e do volume também há

um aumento na pressão desses gases, os ensaios nos mostram o impacto gerado por diferentes níveis de contaminação, evidenciando que quanto maior a porcentagem da contaminação de óleo na areia maior o volume e pressão de gases gerados, com isso a incidências de defeitos de porosidades e bolhas nas peças fundidas serão mais frequentes.

5. CONCLUSÃO

Com esse trabalho foi possível verificar que em processos mais modernos e automatizados de fundição são utilizadas máquinas de alta pressão que utilizam óleos hidráulicos e de lubrificação, esse óleo pode vir a contaminar a areia e gerar impactos negativos na qualidade das peças fundidas.

A areia contaminada vai ter as suas propriedades impactadas como a redução da permeabilidade, redução da resistência mecânica, aumento da compactabilidade, aumento da perda ao fogo e da volatilidade.

Com essas características alteradas a obtenção de peças com defeitos será maior, já que com a redução da permeabilidade e o aumento de voláteis no interior do molde pode se gerar uma maior incidência de porosidades devido ao aprisionamento desses gases no interior do molde que não irão sair durante o vazamento e a solidificação da peça causando porosidades e em casos mais extremos podendo levar até mesmo a explosão do molde.

A porcentagem dessa contaminação também impacta diretamente na geração dos gases, com isso o responsável do processo deve se atentar a essa contaminação e fazer o controle criterioso junto a manutenção para evitar que esse óleo caia na areia durante o processo, identificando fontes de contaminação e retirando a areia que venha a ser contaminada.

Quando feito uma análise referente ao uso da areia verde pode-se concluir que apesar das desvantagens ainda assim o processo é viável e bem atrativo por possuir uma gama muito vasta de vantagens, tornando assim quase que desprezível os seus pontos negativos já que eles podem ser muito bem controlados e contornados, propiciando assim o que toda indústria do ramo busca, qualidade, quantidade e baixo custo-benefício.

REFERÊNCIAS

- ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (São Paulo). 9th BRICS International Foundry **Fórum debate futuro da indústria de fundição no Brasil**, China e Rússia. 2019.
- ABIFA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (São Paulo). **Fundição cresce +10,1% em 2022, impulsionada pelo mercado interno**. 2023.
- ANDRADE, Ana Luíza Mello Santiago de. **Idade do Ferro**. Engenharia mecânica. Edesc, 2010.
- AURA, André Paegle; MORO, Norberto. **Processos de Fundição**. Apostila do Curso Técnico em Mecânica do CEFET/SC, 2002. FLORIANÓPOLIS – 2007. Disponível em: <<http://www.norbertocefetsc.pro.br>> Acesso em: 10 jun. 2023.
- ALISIR S, Cevik S. **The effects of foundry sand components on the cast iron**. **Res. Eng. Struct. Mater.**, 2020; 6(2): 127-140.
- BALDAM, Roquemar de lima; VIERA, Estéfano Aparecido Vieira. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2014.p 21.
- BHUSHAN, Kamble. **Analysis of Different Sand Casting Defects in a Medium Scale Foundry Industry - A Review**. Vol. 5, Issue 2, 2016.
- CERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: processo de fabricação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw Hill, 1986. 315 p. (Volume II)
- DAGNESE, Juliana. **Análise de defeitos em peças de ferro fundido cinzento utilizando-se da análise morfológica e correlação com a literatura**. UFRGS 2008.
- FERREIRA, J. M. G. **Tecnologia da fundição**. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010. 544 p.
- FREITAS, Vinicius. **Influência do uso de diferentes filtros cerâmicos no vazamento da liga SAE 305 por gravidade, em molde de areia verde**. ABIFA, 2017.
- FONSECA, Marco. **Formação de defeitos em peças fundidas de ferro fundido cinzento e nodular**, 2002.
- FUOCO, Ricardo. Inclusões de re-oxidação e bolhas de ar preso formadas durante o preenchimento turbulento de peças fundidas. **Revista Fundição & Matérias-Primas** nº228, 2020.
- GREENHILL, J. M., "A produção de fundidos de ferro com qualidade através do controle efetivo do metal fundido e seu tratamento", Trabalho #16, BCIRA 1988 Conferência na Universidade de Warwick.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GUESSER, Wilson Luiz. **Propriedades mecânicas dos ferros fundidos**. São Paulo: Blucher, 2009.

GUESSER, Wilson Luiz. MASIERO, Isaías. **Um estudo sobre porosidades de nitrogênio em ferros fundidos brancos**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3. n.1, p. 22-25. 2009.

HABIBULLAH, Pervaiz. **Morphology of exogenous blowholes in steel castings: Sand moulds user for metal casting**. 2011. 133 f. These (Doctors) - Curso de Mechanical Engineering, University Of Bucharest, Islamic Republic Of Pakistan In Romania, 2011.

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. Rede de Bibliotecas. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. Belo Horizonte: IFMG, 2020. Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/portal/ensino/bibliotecas/manual-de-normalizacao-do-ifmg>. Acesso em: 20/12/2023.

JARDIM *et. al.* **Escola de engenharia de Piracicaba fundação municipal de ensino processos de fabricação e processo de moldagem e fundição em areia verde**, 2007.

LOPES, E. J.; FERREIRA, F. F.; DEZENA, M. L. C. **Sistema de recuperação de areias alcalinas de fundição**. Revista Fundição & Matérias-Primas, São Paulo, p. 48-59, jan. 2004.

MARIOTTO, C. L. Albertin, E. FUOCO, R. **Sistemas de Enchimento e Alimentação de Peças Fundidas**, 1a edição, Associação Brasileira de Metais (ABM), São Paulo, 1987.

MARIOTTO, C.L.; ALBERTIN, E.; FUOCO, R. Defeitos devido à alimentação. In: SEMINÁRIO DEFEITOS DE FUNDIÇÃO, [entre 1970 e 1990], [S.I.]. Anais. [S.I.]: **Revista Fundição e Serviços**. [Entre 1970 e 1990], p.32-54. (Texto Parcial do Curso "Alimentação e enchimento de peças fundidas – ABM).

MILLER, Liam. **Reducing the Impact of Hydraulic Oil Contamination on Bentonite-Based Molding Sand asn Quality**. Modern Casting; 38-43; 2022.

NUNES, Laerce de Paula; KREISCHER, Anderson de Paula. **Introdução à metalurgia e aos materiais metálicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 350 p. I.

OLIVEIRA, Bruno Ferraz de. **Fundição**. Rede e-Tec Brasil IFPA. 2013.

PRIBULOVÁ A.; GENGEĽ P.; BARTOŠOVÁ M. **Resíduos da produção fundições de aço e ferro fundido** - suas características, propriedades e possibilidades de uso, TUKE Košice. 2010.

SIDDIQUE, Rafat; SINGH, Gurpreet. **Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing**. Resources, Conservation and Recycling, Vol.55, p. 885-892, 2011.

SOUZA, Breno **“Processo de Fundição Fornos de Fundição”** SENAI, 2011.
TÂMEGA, Fábio; **Fundição de processos siderúrgicos**; Londrina: Editora e Distribuidora S.A, 2017.

TORRE, Jorge. **Manual prático de Fundição**. São Paulo, 2004. 243 p.

TECNOFUND - EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS LTDA. **DEFEITOS EM PEÇAS FUNDIDAS CAUSADOS POR AREIAS DE MOLDAGEM E MACHARIA E OS ENSAIOS LABORATORIAIS PARA AUXILIAR NAS SOLUÇÕES**. TT-001P, 2020.

VAZAMI, Raphael. **Aplicação dos filtros de espuma cerâmica na indústria de fundição nos últimos 30 anos**. ABIFA, 2019.

WEBSTER, P. D. **Fundamentals of Foundry Technology**, Norwich, 1980.

ANEXO



Balanças Precisa Comércio e Serviços
Rede Brasileira de Calibração
Laboratório de Calibração de Balança acreditado pela CGCRE sob Nº 0460



Certificado de Calibração Nº 8712

SOLICITANTE

TUPY MINAS GERAIS LTDA

Endereço : Rua: Senador Giovanni Agnelli, 230
Cidade : Betim
CNPJ/CPF : 36448137000150

Bairro : Distrito Industrial Paulo Camillo Norte
UF : MG CEP : 32681-080
Insc. Estadual : 36766260025

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Local da calibração : NAS DEPENDÊNCIAS DO CLIENTE
Data da calibração : 04/12/2023

Data de emissão : 08/12/2023
Número da Ordem de Serviço : -

ITEM CALIBRADO

Item : BALANCA	Tipo : DIGITAL	Fabricante : SARTORIUS
Nº de série : 28509802		Modelo : ED 32350CE
Carga máxima (g) : 320,000		Resolução (g) : 0,001
Divisão de verificação (g) : 0,01		Localização : LABORATÓRIO DE AREIAS
Classe : II		Nº do ativo : LM - 205

MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

A calibração foi realizada por comparação direta entre o padrão de referência e a média das leituras indicadas pelo instrumento, conforme Procedimento Interno Balanças Precisa PI 7.2.1 - CALIBRAÇÃO RBC DE BALANÇAS

PESOS PADRÕES UTILIZADOS

- Conjunto de Pesos Padrão, CJ 04 (1 mg a 5 kg), classe F1, certificado nº M-71635/22, válido até 15-12-2024.

PADRÕES DE MEDIÇÃO AMBIENTAL UTILIZADOS

BAROMETRO DIGITAL, THG-01, certificado E13334A/23, válido até 11/08/2025.

TERMOHIGROMETRO DIGITAL, THG-01, certificado E13334B/23, válido até 14/08/2025.

Condições ambientais durante a calibração - Início / Término

Temperatura (°C) :	Umidade Relativa do Ar (%) :	Pressão (hPa) :	Massa específica do ar (kg/m³) :
20.3 / 20.2	50.6 / 50.7	918.7 / 918.7	1.09 / 1.09

OBSERVAÇÕES

- A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a Incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k =$ (ver na tabela de Resultados da Calibração), o qual para uma distribuição t com $veff =$ (ver na tabela de Resultados da Calibração) graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A Incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02;
- Esta calibração não isenta o instrumento do controle estabelecido na regulamentação metrológica;
- Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, ainda que similares;
- Este documento somente poderá ser reproduzido em sua totalidade. Reprodução parcial deverá ser procedida de autorização formal do laboratório Balanças Precisa;
- O ajuste do instrumento, quando realizado, não faz parte do escopo de acreditação do laboratório;
- Este certificado atende aos requisitos de acreditação da CGCRE, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade à padrões nacionais de medida;
- Uma cópia deste certificado será armazenada eletronicamente durante 05 anos.

FOR 7.2.1/01 - Certificado de Calibração de Balança, revisão 09 de 06/12/2023

- 1/2 -

Av. João Gomes Cardoso, nº 232 | Jardim Laguna | CEP 32.140-172 | Contagem | Minas Gerais
Telefone: (31) 3369-6400 | laboratorio@balancasprecisa.com.br | www.balancasprecisa.com.br