

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS SANTINI DE OLIVEIRA SIMÕES

**ESTUDO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DE REFUGO NA FUNDIÇÃO POR
PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA COM CURA A FRIO E SEU IMPACTO
FINANCEIRO PARA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

LONDRINA

2021

LUCAS SANTINI DE OLIVEIRA SIMÕES

**ESTUDO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DE REFUGO NA FUNDIÇÃO POR
PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA COM CURA A FRIO E SEU IMPACTO
FINANCEIRO PARA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

**The study of major causes of scrap in foundry by process of cold cure in sand
mold and the financial impact in the metallurgical industry**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Materiais da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sílvia Midori Higa

LONDRINA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS SANTINI DE OLIVEIRA SIMÕES

**ESTUDO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DE REFUGO NA FUNDIÇÃO POR
PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA COM CURA A FRIO E SEU IMPACTO
FINANCEIRO PARA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Materiais da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 06/dezembro/2021

Silvia Midori Higa
Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Odney Carlos Brondino
Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pollyane Márcia de Souto
Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2021

RESUMO

O processo de moldagem em areia com cura a frio é uma das técnicas de fundição mais empregadas devido principalmente ao seu baixo custo frente aos outros métodos existentes. Porém, a presença de defeitos que levam ao refugo de peças fundidas pode se tornar um grande problema para as empresas, visto que, o descarte de peças resulta em custos adicionais que influenciam diretamente no seu faturamento mensal. Dessa forma, neste trabalho buscou-se a identificação das principais causas de refugo de peças fundidas em moldagem de areia de uma empresa de fundição, durante um período em que os índices de refugos foram elevados, por meio da aplicação de ferramentas da qualidade a fim de propor um plano de ação para redução de tal índice. Inicialmente foi elaborada uma folha de verificação na qual constatou-se que durante o período em análise houve 306 peças refugadas, em seguida com o auxílio do *software Power BI* fez-se um diagrama de Pareto, no qual identificou-se os três defeitos de maior incidência, sendo eles: desvios dimensionais, trincas e porosidades que somados corresponderam à 67,65% de todo refugo da empresa. Em seguida, foi construído um diagrama de Ishikawa para cada um dos três defeitos com o intuito de identificar as prováveis causas dessas não conformidades. Por fim, foi desenvolvido um plano de ação com possíveis melhorias a serem aplicadas para redução do índice de refugo da empresa.

Palavras-chave: fundição; moldagem em areia; cura a frio; refugo; ferramentas da qualidade.

ABSTRACT

The process of cold cure in sand mold is the technique widely applied for foundry because of their low cost compare to the other method. However, the refuse entailed to the process of foundry can became a notable problem for the companies, seeing that the waste generates extra cost to the process that depend on the volume can impact on the month revenue. That way this paper had the intention of detect the main cause of refuse of a company during a period of time that the problem was very significant, was used some quality tools to create some process improvement to dissolve the problem. For collecting the database was used a spreadsheet which evidenced that 306 pieces was refuse during the period of the monitoring, using the software power bi to create a Pareto diagram was possible to detect the 3 most predominate defects was: dimensional deviations, cracks and porosity that combined add up to 67,65% of the total refuse from the company. After that was created an Ishikawa diagram for each defect to discover the probable causes for this non-compliance. Lastly was developed an action plan to reduce the refuse of process looking for the best way to improve the company production.

Keywords: foundry; sand mold; cold cure; scrap; quality tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Classificação dos principais processos de fundição.....	17
Figura 2 -	Tipo de modelo utilizado na fundição de areia. (a) modelo sólido, (b) modelo bipartido, (c) placa-modelo com uma metade em cada face, (d) uma placa-modelo com metade do modelo e macho e outra com outra metade do modelo e sistema de alimentação.....	18
Figura 3 -	Etapas do processo de fundição em areia.....	19
Figura 4 -	Inclusão de escória na superfície de uma peça fundida.....	21
Figura 5 -	Peças fundidas com presença de poros.....	21
Figura 6 -	Peça fundida com trinca na região de menor espessura.....	22
Figura 7 -	Desvio dimensional ocasionado pelo encaixe mal feito do molde.....	23
Figura 8 -	Peça fundida apresentando falta de preenchimento.....	24
Figura 9 -	Efeito do intervalo de solidificação na contração.....	25
Figura 10 -	Peça fundida apresentando rechupe.....	25
Figura 11 -	Exemplo de diagrama de Pareto.....	28
Figura 12 -	Modelo de diagrama de Ishikawa.....	29
Figura 13 -	Fluxograma de atividades.....	31
Figura 14 -	Folha de verificação para coleta de dados.....	32
Figura 15 -	Gráfico de índice de refugo da empresa.....	35
Figura 16 -	Peça refugada devido à quebra do macho.....	36
Figura 17 -	Folha de verificação preenchida após coleta de dados.....	37
Figura 18 -	Suportes de fornos modelos F-7 e F-8 fabricado em HK40.....	39
Figura 19 -	Bombas de leite modelo F1 – 2011 fabricadas em CF8.....	40
Figura 20 -	Diagrama de Pareto dos defeitos de fundição.....	41
Figura 21 -	Quantidade de peças refugadas por defeito (%).....	42
Figura 22 -	Peso de peças refugadas por defeito.....	42
Figura 23 -	Conjunto de carcaças utilizada para bombeamento de água.....	43
Figura 24 -	Suporte de tubos utilizados em fornos petroquímicos.....	44
Figura 25 -	Suporte de tubos utilizado em fornos	

	petroquímicos apresentando trincas.....	45
Figura 26 -	Suportes utilizados em fornos petroquímicos após ensaio de líquido penetrante.....	45
Figura 27 -	Rotores com trincas na região interna após tratamento térmico.....	46
Figura 28 -	Rotor de Sucção com trincas após tratamento térmico.....	46
Figura 29 -	Painel com indicadores de refugo dos meses de julho a outubro.....	48
Figura 30 -	Indicadores de refugo referente ao mês de julho.....	49
Figura 31 -	Indicadores de refugo referente ao mês de agosto.....	49
Figura 32 -	Indicadores de refugo referente ao mês de setembro.....	50
Figura 33 -	Indicadores de refugo referente ao mês de outubro.....	50
Figura 34 -	Diagrama de Ishikawa para o defeito de desvio dimensional...	52
Figura 35 -	Relação de setores associados ao defeito de desvio dimensional.....	53
Figura 36 -	Castelos com deslocamentos devido à utilização de guias inadequadas.....	54
Figura 37 -	Peça apresentando deslocamento devido à utilização de guias desgastadas.....	54
Figura 38 -	Relação de setores associados ao defeito de trincas.....	55
Figura 39 -	Diagrama de Ishikawa para defeito de trincas.....	55
Figura 40 -	Suportes de tubo com trincas nas regiões próximas aos massalotes e canais de ataque.....	56
Figura 41 -	Curva 180° com olhal utilizada em fornos petroquímicos. Na primeira imagem foi detectada inclusão de areia após ensaio de líquido penetrante, já na segunda imagem a mesma peça apresentou trincas após tentativa de retrabalho.....	57
Figura 42 -	Relação de setores associados ao defeito de porosidade.....	58
Figura 43 -	Diagrama de Ishikawa para defeito de porosidade.....	58
Figura 44 -	Peças com poros devido erro durante desoxidação do banho metálico.....	59
Figura 45 -	Precificação dos refugos para cada um dos meses em análise.....	61

Figura 46 - Indicadores de refugos referente aos setores que possuem atividades essencialmente manuais.....	63
Quadro 1 - Cronograma das etapas do trabalho.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CW12MW	Liga a base de níquel – cromo – molibdênio
CF8	Aço inoxidável austenítico com composição FE-18Cr- 8Ni.
CF8M	Aço inoxidável austenítico com composição Fe-Cr-Ni-Mo
E2848WCO	Liga especial com composição 28Cr-48Ni-W-CO
E2535NB-LC	Liga especial baixo carbono com composição 25Cr-35Ni-Nb
HK40	Aço inoxidável de alta resistência térmica com composição 23Cr-19Ni
Kg	Quilograma
mm	milímetros
PCP	Plano de Controle de Produção
RNC	Relatório de não conformidade
WCB	Aço carbono com composição de até 0,3% de Carbono
5A	Aço super duplex com composição de até 0,03% de Carbono
35Cr45NiNB-MA	Liga especial com composição 35Cr-45Ni micro ligado com nióbio
C	Carbono
Fe	Ferro
Ni	Níquel
Mo	Molibdênio
Cr	Cromo
W	Tungstênio
CO	Cobalto
Nb	Nióbio
LC	<i>Low Carbon</i>
MA	<i>Micro Alloy</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	Processo de fundição	16
4.1.1	Tipos de processo de fundição.....	16
4.1.1.1	Moldagem em areia com cura a frio.....	17
4.2	Principais defeitos de fundição	20
4.2.1	Inclusões de óxidos e areia.....	20
4.2.2	Porosidade.....	21
4.2.3	Trincas.....	22
4.2.4	Desvio dimensional.....	23
4.2.5	Falta de preenchimento.....	24
4.2.6	Rechupe.....	24
4.3	Ferramentas da qualidade	26
4.3.1	Folha de verificação.....	26
4.3.2	Diagrama de Pareto.....	27
4.3.3	Diagrama de Ishikawa.....	28
5	MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1	Materiais	30
5.2	Métodos	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.1	Padronização das informações	35
6.2	Elaboração da folha de verificação	36
6.3	Identificação dos defeitos críticos via diagrama de Pareto	40
6.4	Identificação das causas de refugo via diagrama de Ishikawa	47
6.5	Precificação dos refugos	60
6.6	Elaboração do plano de ação	61

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
8	CRONOGRAMA.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Levando em consideração o atual cenário econômico do Brasil em que o mercado interno está se recuperando de uma grande instabilidade global, as empresas devem buscar mecanismos que as tornem mais competitivas no mercado. Nesse sentido, encontrar diferenciais que culminem na redução de custos de produção acaba sendo um dos fatores cruciais para que as empresas se mantenham competitivas e consigam, por consequência, angariar novos clientes. Dessa forma, levando em conta o panorama do mercado de empresas de fundição, para atingir o objetivo de redução de custos, compreende-se que a diminuição de refugos e retrabalhos são os pontos mais relevantes para que a empresa consiga ter um preço competitivo frente a concorrência.

Como citado, no setor de fundição uma das maneiras de reduzir os custos é evitando as não conformidades. Toda perda de material, tempo e mão de obra mal direcionada se traduz em prejuízos para a empresa. Sendo assim, a utilização de metodologias de melhorias contínuas dentro do processo produtivo é de grande valia para alcançar tal propósito.

Dito isso, a fundição estudada é responsável pela fabricação de peças para os mais diversos mercados, tendo como um dos principais o setor petroquímico. O processo produtivo é baseado na fundição em molde de areia com cura a frio para produção de peças estáticas, dispõe também de técnicas para produção de tubos centrifugados, forjaria e usinagem. O processo de moldagem em areia com cura a frio é um dos mais empregados na fundição devido ao seu baixo custo e facilidade em se fabricar peças de média e baixa complexidade. A técnica de cura a frio segue o padrão de fundição em moldes de areia, tendo como principal diferença, o uso de um catalisador líquido adicionado à mistura de areia e resina fenólica.

Diante do exposto, este trabalho propõe um estudo para identificação das principais causas de refugo da empresa em questão, além de realizar um levantamento do impacto econômico que tais descartes acarretam no aspecto financeiro e a partir disso, elaborar um plano de ação com possíveis medidas que possam auxiliar na diminuição do índice de refugo da empresa. Para isso, foram utilizadas ferramentas da qualidade: folha de verificação, diagrama de Pareto e

diagrama de Ishikawa, que auxiliaram na identificação e classificação dos dados obtidos ao longo do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo identificar, com o auxílio de ferramentas da qualidade, as principais causas de refugo em uma fundição por processo de moldagem em areia com cura a frio e propor possíveis ações que possam ser implementadas afim de reduzir a ocorrência desses refugos.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento de dados de refugo da empresa referente aos meses de julho a outubro utilizando o *Software Microsoft Power BI – Business data analytics*;
- Identificar e classificar as principais causas de refugo aplicando as ferramentas da qualidade: folha de verificação, gráfico de Pareto e diagrama de Ishikawa;
- Realizar o levantamento dos custos de operação absorvidos mensalmente pela empresa referente as peças refugadas;
- Propor, por meio de um plano de ação, possíveis melhorias a serem aplicadas para redução do índice de refugo.

3 JUSTIFICATIVA

O mercado cada vez mais competitivo tem exigido que as empresas de fundição trabalhem com custos de produção reduzidos e lucratividade menor. A busca do mercado por preços mais baixos e prazos de entrega menores tem obrigado as empresas a melhorarem seus processos internos afim de aumentarem a produtividade. Nesse sentido, ações que visem diminuir o índice de refugo são de grande valia, visto que, o descarte de material impacta diretamente nos custos de produção assim como nos prazos de entrega das peças.

Nesse contexto, o presente trabalho foi proposto a partir de um problema real encontrado em uma empresa de fundição, no que se refere à quantidade de peças refugadas mensalmente e suas principais causas, durante todo o processo produtivo por moldagem em areia com cura a frio.

A empresa em questão possui como meta, um índice de refugo mensal de até 3%, classificando como excelente uma taxa de 2%. Contudo, entre os meses de julho a outubro de 2021, tais valores ficaram acima da meta estipulada, tendo seu menor valor no mês de setembro (7,03%) e o maior no mês de julho (17,97%).

Por se tratar de uma fundição especializada em aços e ligas especiais, materiais esses que possuem a capacidade de serem retrabalhados com mais facilidade frente aos ferros fundidos por exemplo, tais índices de refugo expostos acima evidenciam ainda mais a necessidade de um estudo nesse sentido.

Sendo assim, este trabalho tem o intuito de colaborar com uma empresa de fundição situada no interior de São Paulo, na identificação das principais causas de refugo da empresa, bem como realizar um levantamento dos custos de operação referente as peças refugadas afim de precificar o impacto financeiro que esses descartes causam, além de propor possíveis melhorias que possam impactar diretamente no índice de refugo mensal.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Processo de fundição

A fundição é um processo de fabricação em que ocorre a transformação de metais ou ligas metálicas em peças para os mais variados fins, tendo como ponto de partida o metal líquido ou fundido que é vertido no interior de um molde. Com a solidificação, o metal assume a forma do molde, com um certo grau de contração (BALDAM, 2014).

Esse método de fabricação é amplamente utilizado devido a algumas particularidades que o tornam extremamente atrativo. Dentre elas, sua alta versatilidade, que permite a fabricação de peças das mais variadas dimensões, geometrias e aplicações, permitindo a produção de simples bens decorativos até produtos de alta tecnologia. Associado a isso, tem-se o atrativo econômico devido ao fato de a fundição ser o processo que possui o caminho mais curto entre o metal líquido e a peça final (BALDAM, 2014; CHIAVERINI, 1986).

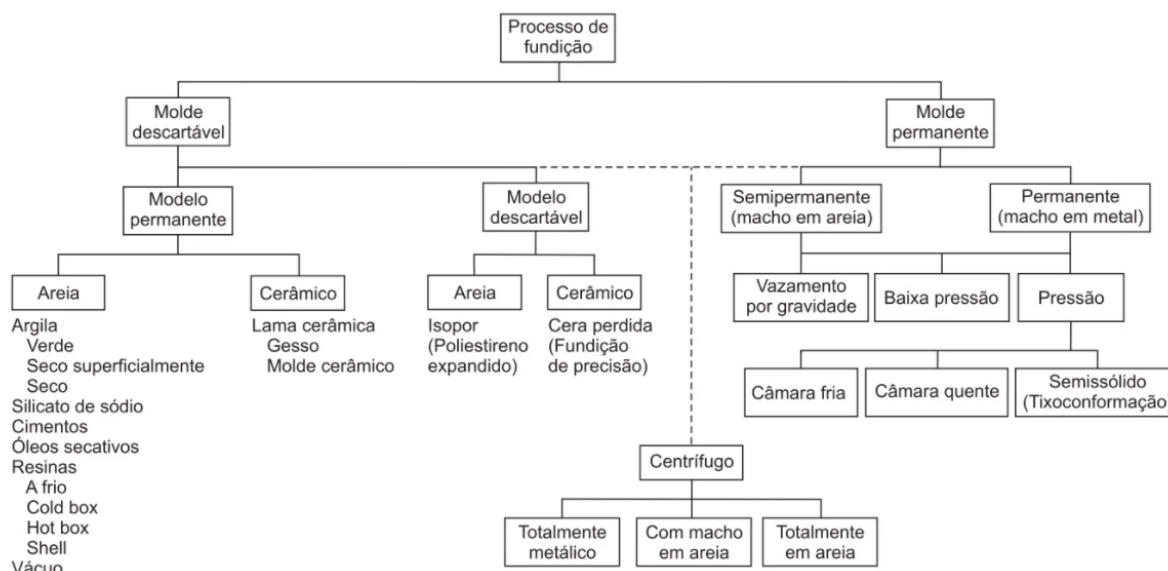
Por outro lado, existem certas desvantagens relacionadas ao processo de fundição referentes principalmente às propriedades mecânicas, limitações dimensionais, acabamento superficial, além de questões ambientais quanto ao descarte materiais e periculosidade associada ao trabalho com metal líquido (KIMINAMI, CASTRO, OLIVEIRA, 2013).

4.1.1 Tipos de processo de fundição

Existem inúmeros processos para fabricação de peças fundidas. A escolha da técnica adequada vai depender da característica da liga a ser vazada, da geometria e dimensão da peça, da quantidade de peças que serão fabricadas, do nível de qualidade superficial que se deseja, dentre outros como tolerâncias dimensionais exigidas e custos de produção (BALDAM, 2014).

Na Figura 1 é possível observar a classificação dos principais métodos de fundição, que em geral é feita em função do tipo de moldagem: molde descartável ou permanente.

Figura 1 - Classificação dos principais processos de fundição



Fonte: Adaptado de BALDAN, 2014

Nota-se uma grande gama de processos de fabricação por fundição. Dentre os expostos acima, os mais empregados na indústria atualmente são de moldagem em areia, moldagem em casca, sob pressão, fundição de precisão, *cold box*, centrífuga e alta precisão (BALDAN, 2014).

4.1.1.1 Moldagem em areia com cura a frio

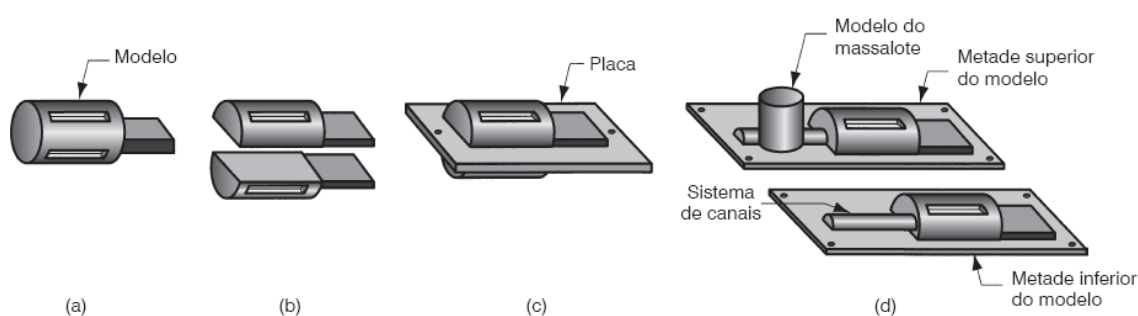
A fundição em moldagem de areia é largamente utilizada uma vez que, quase todos os metais podem ser fundidos nesse tipo de molde, além de ser uma das poucas técnicas que suportam as altas temperaturas de fusão de materiais como aços, níquel e titânio (GROOVER, 2016).

Nessa linha, o processo de cura a frio é apontado pela indústria, como o segundo mais empregado na fundição. Essa posição advém principalmente devido ao baixo consumo energético de produção, somado ao fato de ser apropriado para fabricação de baixo e médio volume de peças complexas. Além disso, o produto final apresenta uma ótima qualidade superficial, o que acaba impactando diretamente nos custos de acabamento (AFS, 2015).

O processo de fundição por moldagem de areia com cura a frio compõe-se da seguinte maneira: inicialmente são confeccionados o modelo, massalote e

machos, com base no desenho da peça. Geralmente em madeira e bipartido, o modelo consiste basicamente numa réplica em tamanho real da peça que se deseja obter (BALDAM, 2014). Na Figura 2 tem-se um esquema representativo de um modelo bipartido.

Figura 2 – Tipo de modelo utilizado na fundição de areia. (a) modelo sólido, (b) modelo bipartido, (c) placa-modelo com uma metade em cada face, (d) uma placa-modelo com metade do modelo e macho e outra com outra metade do modelo e sistema de alimentação



Fonte: Adaptado de GROOVER, 2016

Em seguida é realizada a fabricação do molde e machos. Nessa etapa é feita uma mistura a base de três matérias primas principais: areia base (sílica), ligante (resina fenólica) e catalisador. Essa mistura é adicionada numa caixa metálica que contém o modelo e os canais de alimentação previamente adicionados, onde é compactada até que tome as dimensões dos mesmos. Após um certo período de cura, que varia de 20 a 25 minutos, a mistura atinge uma resistência mecânica suficiente e o molde pode ser retirado da caixa de moldagem. O mesmo processo é feito para confecção dos machos. É importante ressaltar que a cura da mistura começa logo após a combinação de todos os componentes, portanto o processo de moldagem deve ser iniciado logo após a realização da combinação dos componentes (BALDAM, 2014; KIMINAMI, CASTRO, OLIVEIRA, 2013).

Posteriormente a moldagem, os moldes passam pela etapa de pintura afim de garantirem um melhor acabamento da peça fundida, atuando para prevenir o aparecimento de defeitos superficiais como veimento, porosidades e inclusões. Além disso, a tinta é utilizada para amplificar a resistência superficial do molde, impedindo que o mesmo sofra erosão durante o processo de vazamento do metal líquido (BALDAM, 2014; SIEGEL et al, 2014). Para o processo de cura a frio geralmente são utilizados revestimentos úmidos que podem ser a base de grafite

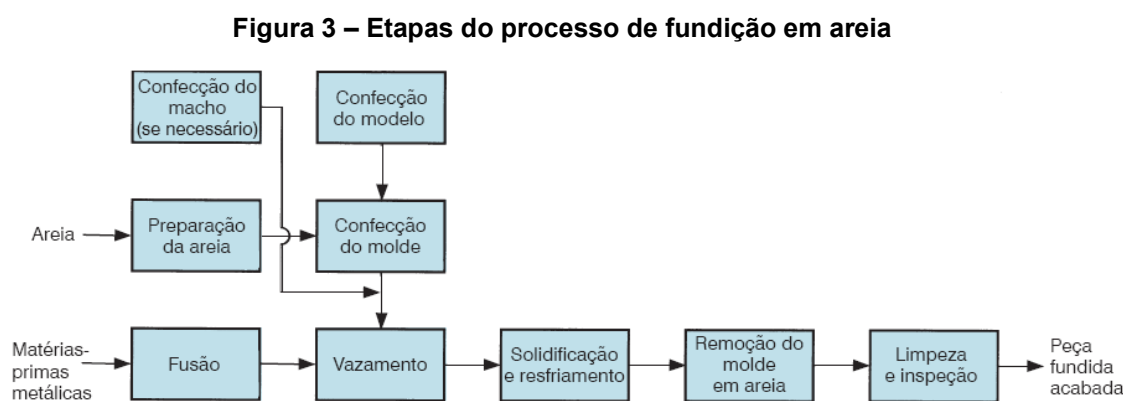
(revestimento grafite), a base de material refratários (revestimento cerâmico) ou uma mistura de ambos (revestimento misturado) (SHI, 2012).

Em seguida é realizada a fusão do metal. Para tal existem inúmeros modelos de fornos que variam principalmente quanto à fonte de energia. Os mais empregados são os fornos elétricos a arco, fornos cubilô e fornos por indução. Junto do metal é adicionada uma carga de desoxidante que auxilia na remoção de gases dissolvidos no banho metálico. Após a fusão, metal é transportado para a panela de vazamento que irá verter o material no molde (CHIAVERINI, 1986; GROOVER, 2016).

Completada a solidificação do metal, normalmente verificando se o massalote já está rígido, inicia-se a etapa de desmoldagem que pode ser tanto manual, conhecida como choque, em que as caixas são deixadas caírem no chão, ou mecânica por vibração, em que as caixas são dispostas em cima de uma mesa vibratória. No caso da fundição em areia com cura a frio, a mesma é praticamente toda recuperada para ser utilizada novamente (BALDAM, 2014).

Por fim ocorre o processo de limpeza e rebarbação das peças fundidas na qual são retirados os canais de alimentação, massalotes, rebarbas e protuberâncias em excesso provenientes do processo de fundição. Em seguida, a peça passa por um jateamento superficial para retirada dos vestígios de areia provenientes do molde (BALDAM, 2014; CHIAVERINI 1986).

Na Figura 3 é apresentado um esquema simplificado de todas as etapas do processo de fundição em molde de areia.



Fonte: GROOVER, 2016

4.2 Principais defeitos de fundição

Por conta das inúmeras variáveis presentes em todo o processo de fundição, a possibilidade de ocorrência de defeitos em alguma das etapas é substancialmente alta. Caso não haja um rigoroso controle durante a fabricação, tais defeitos podem resultar no refugo da peça. Todavia, determinadas imperfeições, desde que não prejudiquem a funcionalidade da peça, são passíveis de retrabalho (SANTANA, 2016).

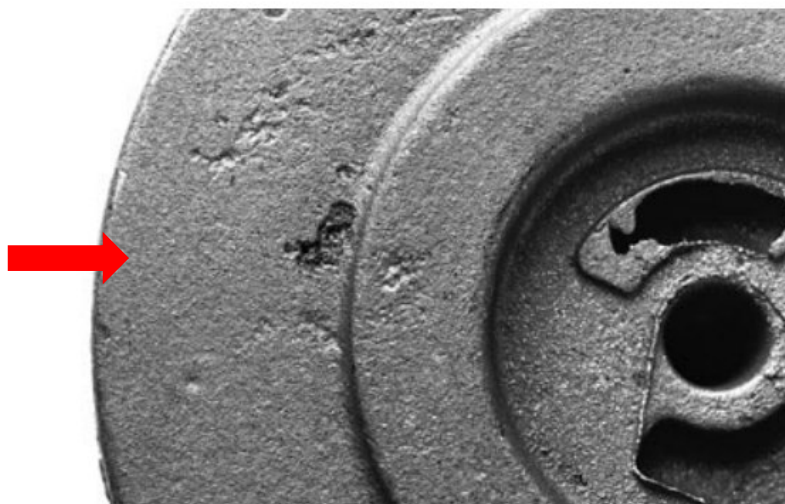
Esses defeitos normalmente advêm de problemas de ordem metalúrgica, relacionados principalmente ao molde de areia e ao processo de vazamento. No entanto, muitas vezes mais de um fator pode ocasionar a aparição de defeitos, o que acaba por dificultar a identificação da causa e das possíveis ações corretivas que devem ser tomadas (SANTANA, 2016).

4.2.1 Inclusão de óxidos e areia

As inclusões de óxidos são inclusões não metálicas, de formato irregular, que ocorrem principalmente devido a fatores como, falta de limpeza da escória presente no forno de fusão e na panela de vazamento, dimensionamento incorreto do sistema de alimentação, composição de desoxidante inadequada e reações de reoxidação advindas de metais que apresentam elevada tendência à formação de óxidos (SOUZA, 2015).

Já as inclusões de areia são geradas sobretudo devido à erosão da superfície do molde pela ação do metal vazado. A presença de um regime turbulento durante o vazamento do metal fundido contribui para o aparecimento do defeito, por isso se faz necessário um projeto de alimentação e distribuição eficiente. Além disso, a inclusão de areia pode advir de resquícios de areia que não foram removidas após confecção do molde e também do desprendimento de areia do molde decorrente de uma má formulação da mistura (SANTANA, 2016; SOUZA, 2015). Na Figura 4 a seguir é possível observar o defeito de inclusão de escória na superfície de uma peça fundida.

Figura 4 - Inclusão de escória na superfície de uma peça fundida

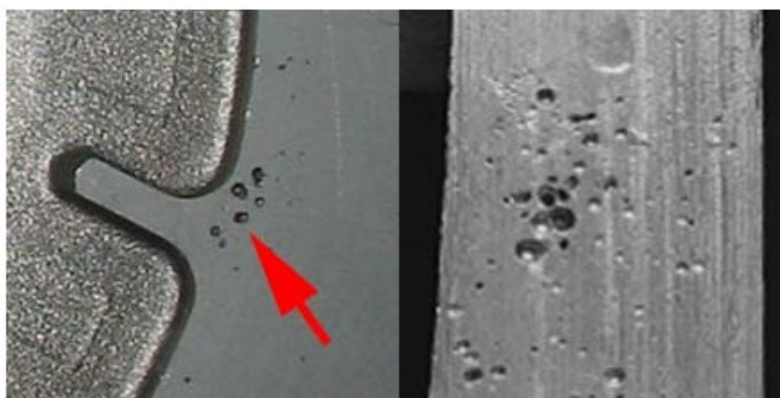


Fonte: Description of defects: Slag inclusions

4.2.2 Porosidade

A porosidade é um dos defeitos mais comuns na fundição. Também denominada de bolha ou gases, apresenta uma superfície lisa, normalmente esférica e geralmente imperceptíveis na peça bruta, sendo muitas vezes identificadas somente após etapa de usinagem (BALDAM, 2014). Na Figura 5 é possível observar o formato característico dos poros em duas peças fundidas.

Figura 5 – Peças fundidas com presença de poros



Fonte: CAUSES of Die-Castings-Gas-Porosity and improvement measures, 2019

Sua classificação é feita com base na sua origem. As porosidades provenientes das reações de gases atmosféricos dissolvidos (oxigênio, nitrogênio e

hidrogênio) no volume de metal fundido são denominadas endógenas. Já as advindas de reações metal/molde são consideradas porosidades exógenas (SOUZA, 2015).

A identificação da causa raiz do defeito de porosidade é, muitas vezes, difícil de ser apurada, visto que, sua origem pode estar vinculada a inúmeras variáveis do processo de fundição. Dentre os principais motivos podem se destacar, a elevada umidade do molde e macho, falta de permeabilidade do molde, turbulência dos sistemas de canais de preenchimento da cavidade do molde, preaquecimento da panela de vazamento insuficiente ou inexistente, mistura de areia com aglomerantes com elevada tendência de desprender gases, pintura com predisposição de liberar gases, saída de gases (respiros) insuficiente (SANTANA, 2016; SOUZA, 2015).

4.2.3 Trincas

Os defeitos de trincas, conforme mostrado na Figura 6, assim como as porosidades, podem ser originados por inúmeras razões. Devido a essa diversidade, o estudo para identificação das causas é de suma importância para implementação das ações corretivas necessárias. Para tal, são considerados fatores como, posição da trinca (normalmente o esforço que gerou a trinca é perpendicular à direção de propagação), aspectos de superfície (cor, marcas, tipo de fratura) além da presença ou não de outros defeitos na superfície que possam ter contribuído para o aparecimento ou propagação da mesma (BRAGA, 2011; FUOCO, 2014)

Figura 6 – Peça fundida com trinca na região de menor espessura



Fonte: SÔNEGA, 2014

As trincas podem ocorrer por erros de operação durante o transporte da peça, no decorrer da fase de rebarbação e/ou usinagem e também durante a etapa de desmolde do fundido. Contudo, muitas vezes podem advir de erros de processo como falhas durante o tratamento térmico ou durante a solidificação com as conhecidas trincas a quente que ocorrem, segundo estudos, durante a última etapa de solidificação, quando ainda se faz presente uma pequena parcela de metal líquido. Dessa forma, quanto maior a quantidade de líquido presente nessa etapa final, e maior for o intervalo de solidificação da liga, maior a possibilidade de surgimentos de trincas a quente. Muitas vezes, essas trincas estão associadas ao fato da contração do fundido ser restringida pela baixa deformação do molde/macho (BRAGA, 2011; NETO, F. B.; MAGNABOSCO, R.; SILVA, A. L. V. C, 2014).

4.2.4 Desvios dimensionais

Classe de defeitos que podem ocorrer numa região específica, ou ao longo de toda peça fundida. Sua ocorrência pode estar relacionada a erros de cálculos como, falta de precisão nas estimativas de contração e imprecisão de medidas na confecção dos modelos. Porém, em suma maioria, tais defeitos advêm de erros operacionais tais como, excesso de rebarbação, deslocamento de macho e desencontro de molde devido a falhas no fechamento como é possível observar na Figura 7 (BRAGA, 2011).

Figura 7 – Desvio dimensional ocasionado pelo encaixe mal feito do molde



Fonte: SÔNEGA, 2014

4.2.5 Falta de preenchimento

A falta de preenchimento geralmente está associada a falta de fluidez do material fundido por conta da baixa temperatura de vazamento, elevada pressão dos gases no interior do molde, quantidade insuficiente de metal na panela, deslocamento de macho no interior do molde, vazamento do metal pelo molde devido a falhas no fechamento ou na preparação/compactação da mistura de areia, e por possíveis interrupções durante o vazamento do metal (BRAGA, 2011). Na Figura 8 é possível observar a falta de preenchimento em uma peça fundida devido à alimentação insuficiente.

Figura 8 – Peça fundida apresentando falta de preenchimento



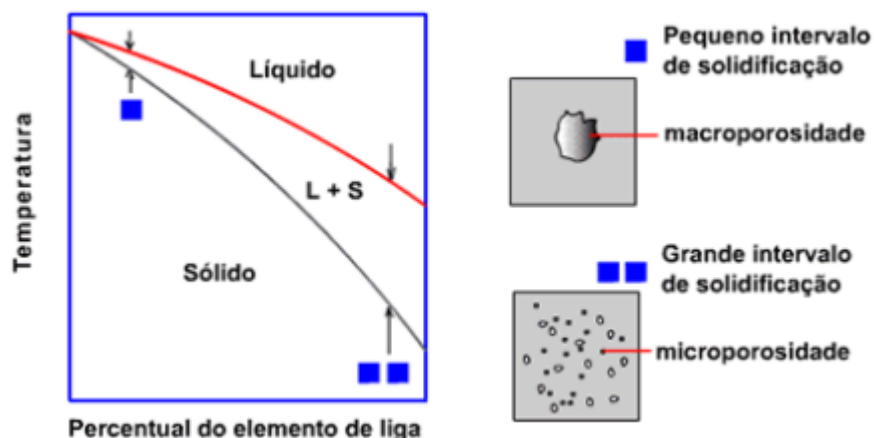
Fonte: PAVANETI, 2018

4.2.6 Rechupe

Os rechupes são vazios internos com superfície irregular que ocorrem principalmente devido à contração volumétrica do metal durante a solidificação. Ligas que possuem um pequeno intervalo de solidificação tendem a formar dendritas menores na interface líquido-sólido favorecendo a formação de macrorechupes devido às contrações serem concentradas em um único ponto da peça, normalmente na última região a se solidificar. Já ligas que apresentam intervalo de solidificação maior tendem a formar dendritas maiores durante a solidificação, o que dificulta o metal líquido penetrar no espaço interdendrítico. Dessa forma, as contrações não são compensadas, angariando a formação de microrechupes entre

esses braços dendríticos (FUOCO, 2014). Na Figura – 9 é ilustrado o efeito do intervalo de solidificação na contração.

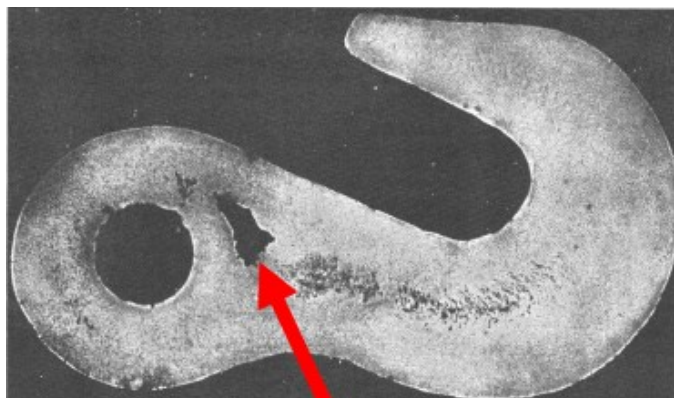
Figura 9 – Efeito do intervalo de solidificação na contração



Fonte: Defeitos de solidificação, 2010

Para evitar a formação de macrorechupes, normalmente são adicionados massalotes no projeto de fundição da peça. Esses alimentadores são reservatórios de metal líquido dispostos próximo da última região a se solidificar. Dessa forma, eles fornecem material para a frente de solidificação de modo que as forças de contração, que formam os rechupes, atuem apenas no massalote, impedindo a formação de macrorechupes na peça fundida, como mostrado na Figura 10. Já para impedir a formação de microrechupes, normalmente são adicionados nas paredes do molde resfriadores que visam aumentar a extração de calor da peça (FUOCO, 2014).

Figura 10 – Peça fundida apresentando rechupe



Fonte: PAVANETI, 2018

4.3 Ferramentas da qualidade

As ferramentas da qualidade possuem como objetivo central auxiliar na localização, compreensão, e eliminação de dificuldades que prejudicam a qualidade de um determinado serviço ou produto. Tais ferramentas são amplamente empregadas no setor industrial devido à sua capacidade de identificação de causas que possam estar prejudicando o setor produtivo, atuando afim de reduzir possíveis perdas e conseqüentemente no aumento da produtividade (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para fins de obtenção e coleta de dados, a folha de verificação é a ferramenta mais apropriada, sendo normalmente apresentada na forma de quadro ou tabela. Já para estudo e análise de causas, ferramentas como gráfico de Pareto e diagrama de Ishikawa são as mais adequadas pois, além de ajudar na identificação das causas em estudo, podem ser utilizadas como ferramentas de planejamento, auxiliando na análise de possíveis problemas que possam vir a acontecer, possibilitando que ações sejam tomadas de forma antecipada (PEINADO; GRAEML, 2007).

4.3.1 Folha de Verificação

A folha de verificação é uma das mais simples ferramentas da qualidade, porém uma das mais importantes, visto que, é com base nos dados quantificados por ela que se tem consciência da real dimensão do problema em estudo (PEINADO; GRAEML, 2007).

Normalmente implantada na forma de um formulário, a folha deve ser idealizada com base na sistemática do problema, de forma a conter todas as informações necessárias para a posterior investigação (LOBO, 2010). A etapa inicial para elaboração do documento corresponde ao planejamento da coleta de dados, em que será definido a problemática em estudo, ferramentas que serão utilizadas, quais são as condições de coleta e formulação do formulário. Em seguida, tem-se a coleta de dados, na qual as informações angariadas devem ser fieis e registradas corretamente. Por fim, após preenchimento, as folhas devem ser organizadas e

analisadas pelos responsáveis afins de dimensionar e catalogar as informações coletadas (TOLEDO et al, 2017).

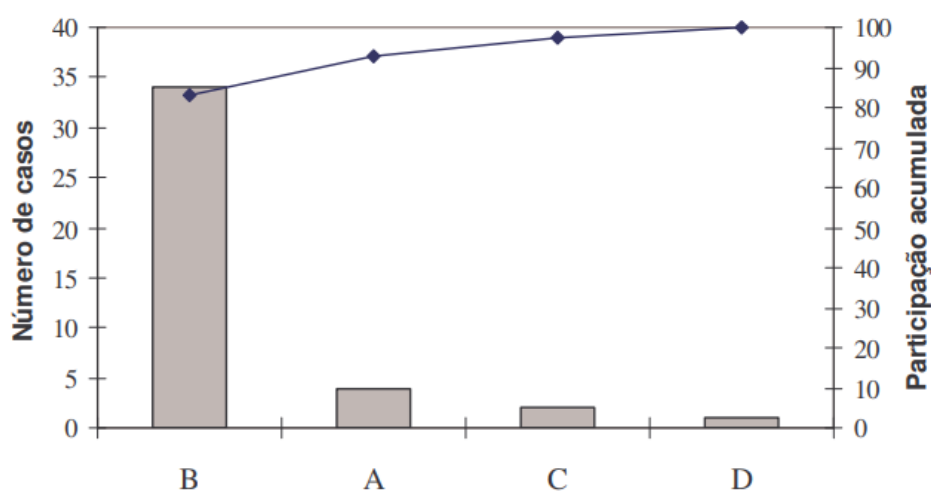
4.3.2 Diagrama de Pareto

O gráfico de Pareto foi desenvolvido por Joseph Juran com base nas análises feitas por dois economistas, o italiano Vilfredo Pareto e o americano Max Otto Lorenz, que identificaram uma relação na qual 80% da riqueza pertencia a apenas 20% da população. A partir dessa premissa, Juran constatou que a relação também era válida para fins industriais, constatando que a incidência de defeitos seguia a mesma lógica. Dessa forma, Juran classificou os problemas da qualidade em problemas poucos vitais e muitos triviais, isto é, a maioria dos defeitos se refere a um número limitado de causas (SANTANA, 2016).

A partir desse diagrama é possível discernir os defeitos de maior relevância que devem, por consequência, serem tratados com prioridade. Tais defeitos, denominados de críticos, são organizados da esquerda para a direita no diagrama, indicando de forma clara para os responsáveis quanto cada uma dessas variáveis representa, em termos percentuais, do problema geral, deixando evidente para quais adversidades a atenção deve ser voltada preferencialmente (SELEME; STADLER, 2012).

Na Figura 11 tem-se um exemplo de aplicação do diagrama de Pareto. Considerando os itens A, B, C e D como sendo defeitos de fundição, nota-se que o defeito B apresenta incidência de aproximadamente 88%, ou seja, praticamente 90% das peças defeituosas referem-se a apenas um único defeito, já as outras 10% correspondem à 75% dos defeitos (A, C e D). Dessa forma, fica visível que por se tratar de um defeito crítico, o defeito B deve ser tratado como prioridade, visto que, é a irregularidade que mais impacta no processo de fundição exemplificado.

Figura 11 – Exemplo de diagrama de Pareto



Fonte: Adaptado de PEINADO; GRAEML, 2007

4.3.3 Diagrama de Ishikawa

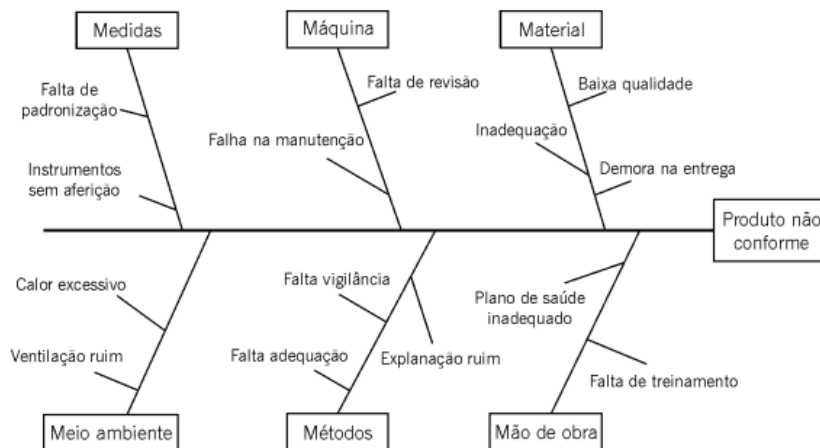
O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, é amplamente utilizado para identificação das consideradas causas não evidentes. Desse modo, apesar de ser uma ferramenta simples, sua construção em muitos casos é particularmente complexa (SELEME; STADLER, 2012).

Para sua elaboração, a princípio deve-se identificar o problema central que deverá ser investigado. Em seguida faz-se um levantamento das possíveis causas, denominadas causas primárias, desse problema principal. A partir daí, para cada causa primária se faz necessário um estudo mais aprofundado afim de detectar variabilidades que estejam relacionadas diretamente com esse motivo. Desse levantamento resultam as causas secundárias que deverão ser investigadas com o intuito de detectar, de forma precisa, o real motivo do aparecimento do problema em questão (SELEME; STADLER, 2012). Na Figura 12 tem-se um modelo de digrama de Ishikawa já com as anotações referentes à causa principal, as primárias e secundárias.

Vale ressaltar que durante todo o processo de levantamento de dados para elaboração do diagrama, recomenda-se concentrar-se nas causas que sejam passíveis de serem sanadas, visto que, aquelas que não podem ser abordadas ou

retrabalhada de alguma forma, não há motivos para discussão (SELEME; STADLER, 2012).

Figura 12 – Modelo de diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de SELEME; STADLER, 2012

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Por se tratar de um trabalho que se inicia com o levantamento e classificação de informações referentes a um processo produtivo específico de fundição, realizou-se previamente um levantamento bibliográfico, tomando como base artigos, dissertações, teses, videoaulas, livros e revistas industriais afim de adquirir um embasamento teórico suficiente para que a identificação e classificação dos defeitos encontrados fosse realizado da maneira correta.

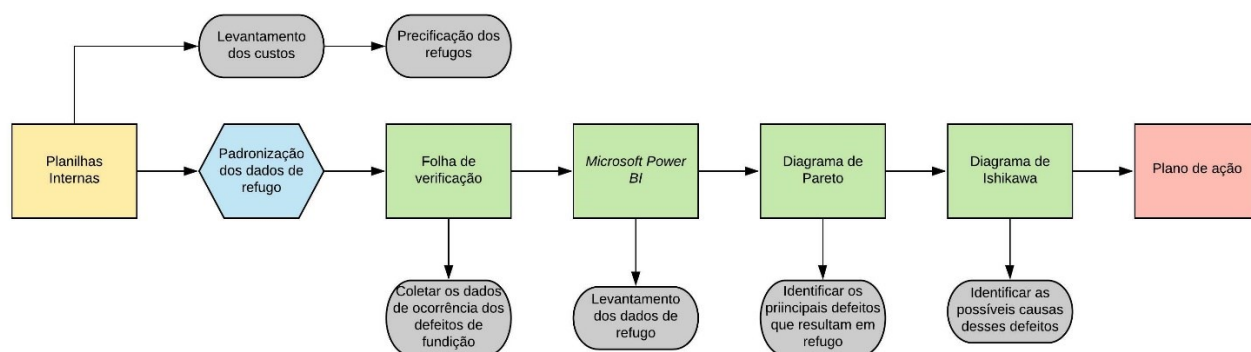
Para realização do levantamento de dados de refugo referente aos meses de julho a outubro de 2021, foram utilizadas, como fonte de informação, planilhas internas do setor de controle da qualidade da empresa. Essas planilhas são atualizadas diariamente e possuem todas as informações de rastreabilidade das peças, além da indicação do defeito que levou ao refugo e do setor responsável pelo mesmo. Esse levantamento foi feito com o auxílio do *software Power BI*, que também serviu de ferramenta para realização do gráfico de Pareto e do diagrama de Ishikawa. Já para o levantamento dos custos de operação, foi utilizada uma planilha interna de despesas departamentais que possui informações dos custos industriais por kg de material fundido.

Por fim, o *Microsoft Excel* foi utilizado para idealizar a folha de verificação que fora elaborada de forma característica, para que abrangesse todos os elementos necessárias para realização do estudo.

5.2 Métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho foram traçadas etapas que compreendem as atividades a serem realizadas e os objetivos das mesmas, assim como a sequência em que ocorrerão, como mostrado no fluxograma da Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma de atividades



Fonte: Autoria própria

Para realizar o levantamento da quantidade de peças refugadas, foi necessário reorganizar os dados contidos nas planilhas internas em uma nova planilha adaptável ao *software Power BI*, pois para que o mesmo interprete as informações de forma correta, é necessário que a planilha possua os dados dispostos de maneira padronizada. Tal ação se fez necessária pois as informações apresentadas nessas planilhas não possuíam um padrão de preenchimento nem de formatação. Tomando como exemplo o defeito de porosidade, em certas ocasiões era descrita como bolha de gás, em outras como poros ou então abreviada na forma de PO. Dessa forma, tais diferenciações dificultariam o rastreo dessas informações pelo *software*.

A partir dos dados, já formatados, presentes na nova planilha, foi elaborada a folha de verificação, desenvolvida para abranger todos os elementos necessários para realização do estudo, conforme mostrado na Figura 14. A mesma foi desenvolvida no formato de tabela do Excel com 6 classes de defeitos e um item denominado de outros que abrange todas as causas de refugos que estejam alinhadas a falhas como, erros durante retrabalhos e acabamento, quebras durante o transporte de peças, quebras durante desmoldagem, falhas durante colocação de macho, pedidos cancelados, composição química incorreta, descuidos com relação à temperatura de vazamento, tratamentos térmicos incorretos, dentre outros. A adição desse item se fez necessário, visto que, por se tratar de um processo produtivo demasiadamente manual, erros dessa natureza são passíveis de ocorrerem.

Figura 14 – Folha de verificação para coleta de dados

FOLHA DE VERIFICAÇÃO					
		Responsável: Lucas Santini		Período de Coleta: 01/07/2021 a 31/10/21	
Defeito/Causa	N° Total de refugos	Período			
		Julho	Agosto	Setembro	Outubro
		N° peças Refugadas	N° peças Refugadas	N° peças Refugadas	N° peças Refugadas
Inclusões					
Porosidade					
Trincas					
Desvio dimensional					
Falta de preenchimento					
Rechupe					
Outros					
TOTAL					

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados coletados com o auxílio da folha de verificação, em conjunto com o programa *Power BI*, foi elaborado um diagrama de Pareto com o objetivo de enunciar, dentre os defeitos encontrados, quais se destacavam e consequentemente, deveriam ser tratados como críticos.

Com base nas informações obtidas pelo gráfico de Pareto, foi possível desenvolver o diagrama de Ishikawa. O mesmo foi produzido apenas para os três principais defeitos, considerados críticos, que foram identificados analisando o gráfico de Pareto. Vale ressaltar que durante a elaboração do diagrama, para cada um dos defeitos principais apontados, as prováveis causas relacionadas ao mesmo foram fundamentadas a partir do embasamento teórico exposto anteriormente, juntamente com o auxílio de colaboradores da empresa que possuem conhecimento técnico suficiente para determinar os possíveis motivos que levaram ao aparecimento do defeito em questão. Esta ação foi de extrema importância, pois colaborou no sentido de dar maior confiabilidade nos resultados apresentados durante o trabalho.

Após aplicação das ferramentas da qualidade expostas acima, determinou-se o custo industrial que os refugos em questão geraram para a empresa. O valor dos custos industriais é calculado dividindo-se os custos de produção de determinado mês pelo total (em kg) de peças vazadas limpas, ou seja, sem massalote, canais de alimentação, etc, produzidas no referido mês. Dessa forma, para realizar o levantamento dos custos gerados pelos refugos, multiplicou-se o

valor do custo industrial de cada mês pelo valor total (em kg) de material refugado naquele mesmo mês.

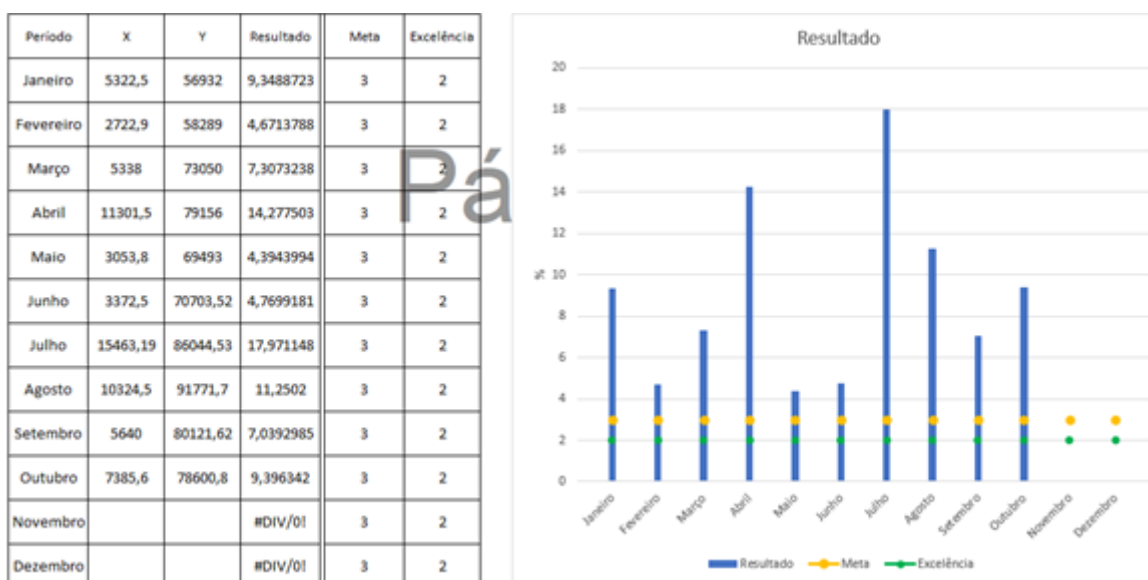
Por fim, com o intuito de propor possíveis ações que possam ser implementadas afim de reduzir a ocorrência de refugos na empresa, foi elaborado um plano de ação que foi fundamentado a partir dos dados obtidos aplicando-se as ferramentas da qualidade em conjunto com experiências adquiridas e situações vivenciadas durante o período de estágio na empresa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir, estão organizados da seguinte forma: primeiramente será argumentado sobre a padronização realizada na planilha interna de controle de qualidade e em seguida, serão discutidos os dados de defeitos de fundição coletados via folha de verificação dos meses de julho a outubro. A partir disso, serão abordadas as informações obtidas com base no diagrama de Pareto com o intuito de identificar os principais defeitos que ocasionam o refugo de peças. Posteriormente, com o auxílio do diagrama de Ishikawa, serão discutidas as causas desses defeitos, afim de identificar suas origens e as razões pela qual os mesmos tendem a ter tanta reincidência. Após tais discussões, serão discorridos os dados de precificação dos refugos dos meses em estudo e qual o impacto que o índice desses ocasiona no faturamento da empresa. Por fim, um plano de ação será apresentado com possíveis melhorias que poderão ser aplicadas afim de reduzir o índice de refugo da empresa.

Com o intuito de dimensionar o problema apresentado pela empresa em relação aos refugos, e, a importância das discussões realizadas nesse tópico acerca de tais descartes, na Figura 15 a seguir é mostrado um gráfico com os índices de refugo para cada um dos meses de 2021. Nota-se, que a meta mensal é de 3%, tendo como excelência uma taxa de 2%. Porém, ao longo do ano tal meta nunca foi alcançada, tendo seu menor valor no mês de maio com 4,39%. Além disso, para os meses de julho a outubro, período analisado neste estudo, os valores do índice obtiveram os maiores patamares, variando de 7,03% à 17,97%.

Figura 15 – Gráfico de índice de refugo da empresa



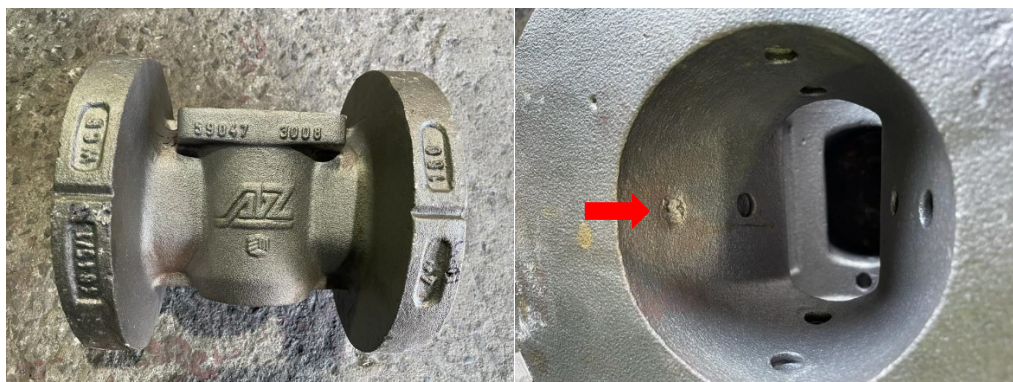
Fonte: Arquivos internos da empresa

6.1 Padronização das informações

A padronização das informações presentes na planilha interna do controle da qualidade se fez necessário por dois motivos. O primeiro se refere ao fato de que para *Software Power BI* interpretar os dados de uma determinada planilha de forma correta, é necessário que a mesma possua os dados dispostos de forma padronizada, principalmente no quesito formatação. Caso o programa detecte informações fora do padrão, as mesmas acabam não sendo inseridas de forma correta pelo software no levantamento de dados, o que acaba comprometendo a pesquisa. Além disso, essa reestruturação foi necessária, pois não existia um padrão de preenchimento quanto aos defeitos observados nas peças. Tomando como exemplo a peça apresentada na Figura 16. A peça em questão foi refugada devido à uma não conformidade em um dos incertos internos que acabou sendo preenchido durante o vazamento em função da quebra do macho presente naquela região. Porém, ao se relatar o defeito na planilha, ora era identificado como quebra do incerto, ora como desvio dimensional, em outro momento era colocado como quebra de macho e até mesmo como excesso de preenchimento, ou seja, para um

mesmo defeito existiam inúmeras descrições. Essa discrepância de informações dificultaria a identificação das principais causas de refugo.

Figura 16 – Peça refugada devido à quebra do macho



Fonte: Autoria própria

Essa padronização foi realizada em conjunto com a coordenadora do setor de controle de qualidade e do analista de qualidade, ambos engenheiros de materiais. Após catalogar todos os possíveis defeitos que podem ocorrer durante o processo de fundição em moldagem em areia, determinou-se que os defeitos seriam classificados em 7 classes: inclusões, porosidade, trincas, desvio dimensional, falta de preenchimento, rechupe e a categoria denominada de outros, que abrange erros durante retrabalhos e acabamento, quebras durante o transporte de peças, quebras durante desmoldagem, pedidos cancelados, composição química incorreta, tratamentos térmicos incorretos e falhas na programação de vazamento.

É importante ressaltar que dentro de cada uma das classes expostas acima, existem inúmeras causas de defeito. Tais causas serão amplamente abordadas durante a elaboração e discussão do diagrama de Ishikawa.

6.2 Elaboração da folha de verificação

Na Figura 17 está disposta a folha de verificação com todos os apontamentos realizados. Nela os defeitos estão catalogados conforme a classificação definida anteriormente, que fora exposta no tópico anterior.

Figura 17 – Folha de verificação preenchida após coleta de dados

FOLHA DE VERIFICAÇÃO					
		Responsável: Lucas Santini		Período de Coleta: 01/07/2021 a 31/10/21	
Defeito/Causa	N° Total de refugos	Período			
		Julho	Agosto	Setembro	Outubro
		N° peças Refugadas	N° peças Refugadas	N° peças Refugadas	N° peças Refugadas
Inclusões	29	5	4	11	9
Porosidade	54	6	7	20	21
Trincas	66	11	13	32	10
Desvio dimensional	87	25	14	12	36
Falta de preenchimento	23	6	4	6	7
Rechupe	13	6	0	0	7
Outros	34	23	7	3	1
TOTAL	306	82	49	84	91

Fonte: autoria própria

Com base nos dados apresentados pela folha, foi possível coletar uma série de informações relevantes. Nota-se que durante o período estipulado, foram refugadas um total de 306 peças fundidas, sendo o mês de outubro o mais crítico, com 91 peças descartadas, representando quase 30% de todo o refugo estudado, seguido dos meses de setembro e julho que apresentaram valores próximos com 84 e 82 peças, respectivamente, e por último o mês de agosto que apresentou 49 peças refugadas, aproximadamente 46% a menos que o mês de outubro, pior avaliado. Fazendo uma média desses dados, são aproximadamente 76 peças refugadas por mês.

Considerando o número de peças refugadas por defeito, observa-se que desvio dimensional é o que apresentou maior incidência com 87 casos, seguido de trincas e porosidades com 66 e 54 ocorrências, respectivamente. O defeito com menor aparição foi o rechupe com apenas 13 casos confirmados, representando apenas 4% de todos os refugos coletados no período.

Fazendo uma análise mais específica para cada defeito, nota-se que as inclusões foram constatadas 29 vezes, cerca de 10% do total de peças refugadas. Se observado mês a mês, a incidência do defeito duplicou no mês de setembro em relação à média dos dois meses anteriores e se manteve maior mês de outubro.

Já os defeitos de porosidade somam 17% de todos os refugos, o que a torna uma classe relevante nesse estudo. Nos dois primeiros meses, a ocorrência de refugo por conta de porosidade foi muito inferior quando comparada aos meses de

setembro e outubro, nos quais os valores praticamente triplicaram, tornando a porosidade a terceira causa com maior incidência.

Para o defeito de trinca, os dados são ainda mais relevantes pois somam 21% de todo o refugo apresentado nos meses em estudo. Nota-se que o mês de setembro foi crucial para esse destaque com praticamente 50% de todas peças refugadas.

Os desvios dimensionais foram os líderes de aparição, somando 28% do total de refugos, tendo no mês de outubro seu ápice com 36 peças refugadas. É importante ressaltar que essa classe de defeitos é a que mais abrange causas de defeito, o que acaba refletindo no alto índice de incidência.

O defeito de falta de preenchimento, representou 7,5% dos refugos totais e foi o único que apresentou certo padrão nas ocorrências, não tendo grandes variações de ocorrência durante os 4 meses.

O refugo de peça ocasionado por rechupes foi o que apresentou menor índice de aparição com apenas 4%. Isso se deve ao fato de que a empresa utiliza o MAGMA, um *software* de simulação que prevê potenciais defeitos de fundição, dentre eles rechupe, durante o processo. Vale destacar que foi o único defeito que não apresentou incidência em um determinado mês, nesse caso nos meses de agosto e setembro, que é algo extremamente positivo.

Nota-se que na classe outros, houve uma grande incidência de casos no mês de julho, 23 casos que equivalem a praticamente 70% dos casos totais apresentados. Já nos meses seguintes a ocorrência de refugo referentes a essa classificação foi bem inferior, chegando a apresentar apenas 1 caso em outubro. Esse acúmulo no primeiro mês se deve a um erro do setor de PCP que culminou no vazamento de 20 peças que foram programadas erroneamente e devido ao fato de serem peças referentes a um pedido em específico que não é realizado periodicamente, os responsáveis decidiram por refugar as peças em questão.

A partir das discussões feitas com base nos dados coletados na folha de verificação, é notório que não há um padrão de ocorrência para os defeitos estudados. Isso se deve ao fato de a empresa não possuir uma produção em série. A fabricação é pautada com base nos pedidos dos clientes, ou seja, existem inúmeros modelos de peças que são produzidas pela empresa. Dessa forma, num determinado mês pode ser que seja produzida um certo tipo de peça em que a

incidência de trincas, por exemplo, foi maior, refletindo num aumento do número de refugos. Porém, no mês seguinte essa peça provavelmente não estará na programação de vazamento, o que ocasionara uma diminuição na incidência desse defeito. Isso explica a oscilação do número de refugos para cada tipo de defeito ao longo dos meses analisados.

Como forma de exemplificar o que foi dito acima, a seguir serão dispostas algumas peças que foram refugadas num mês em específico e que alavancaram a incidência de determinado tipo de defeito nesse mesmo mês.

Na Figura 18 tem-se um conjunto de suportes de fornos modelos F-7 e F-8 fundidos em HK40, que foram refugados devido à presença de trincas ao longo de toda geometria da peça. Ao todo foram refugadas 16 peças desse modelo no mês de setembro. Como exposto anteriormente, o mês de setembro apresentou a maior incidência de peças com trincas e esse elevado índice está diretamente ligado ao fato de que foi nesse mês em específico que os suportes de forno foram refugados. Contudo, nos outros meses não houve incidência de refugo dessas peças, pois as mesmas não foram produzidas.

Figura 18 – Suportes de fornos modelos F-7 e F-8 fabricado em HK40



Fonte: Autoria própria

Já na Figura 19 é possível observar algumas peças denominadas de bomba de leite, modelo F1- 2011 fundidas em CF8. Ao total foram refugadas 19 peças no mês de outubro por conta de desvios dimensionais constatados durante inspeção visual das mesmas. Esses desvios variam entre falta de concentricidade, desvios no diâmetro externo e na altura do corpo central. Nota-se que o mês de outubro foi o que apresentou maior incidência de refugo devido a desvios dimensionais. Porém se consideradas só essas bombas de leite, elas representam mais de 50% desses

refugos. Porém, nos outros meses não houve refugos referentes a essas peças, pois as mesmas não foram vazadas.

Figura 19 – Bombas de leite modelo F1 – 2011 fabricadas em CF8



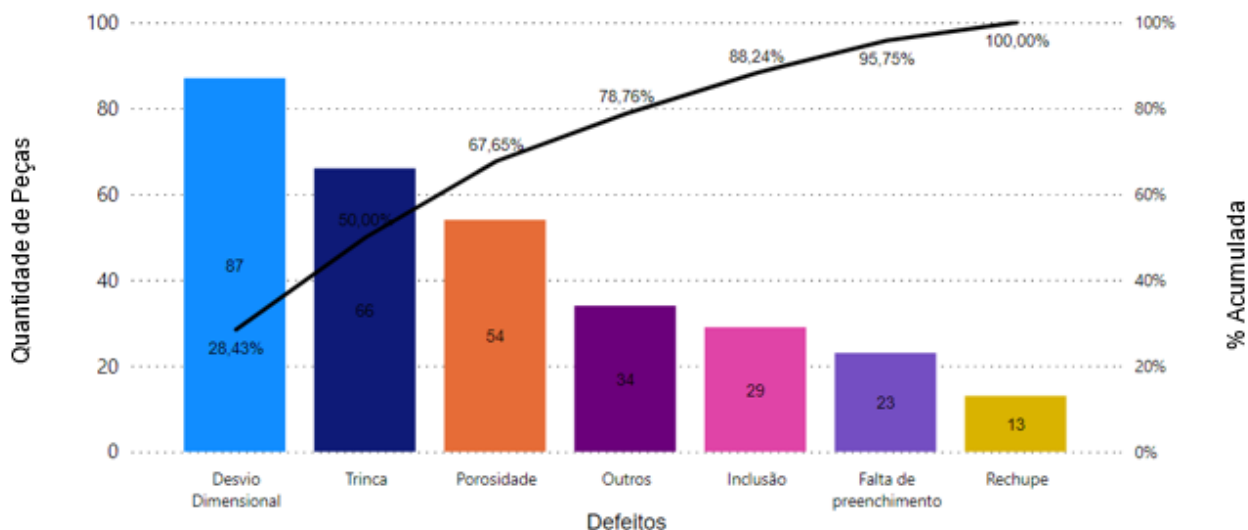
Fonte: Autoria própria

Esses são alguns exemplos que demonstram o porquê de os dados de refugo dos meses em análise não possuírem um determinado padrão de aparição.

6.3 Identificação dos defeitos críticos via diagrama de Pareto

Para elaboração do diagrama de Pareto apresentado na Figura 20, foi utilizado o *software Power BI*. As informações expostas nele foram obtidas com base nos dados coletados via folha de verificação em conjunto com a planilha interna, já padronizada. O programa em questão foi escolhido devido a sua grande capacidade em correlacionar informações. Essas associações serão demonstradas e discutidas ao longo desse e dos próximos tópicos.

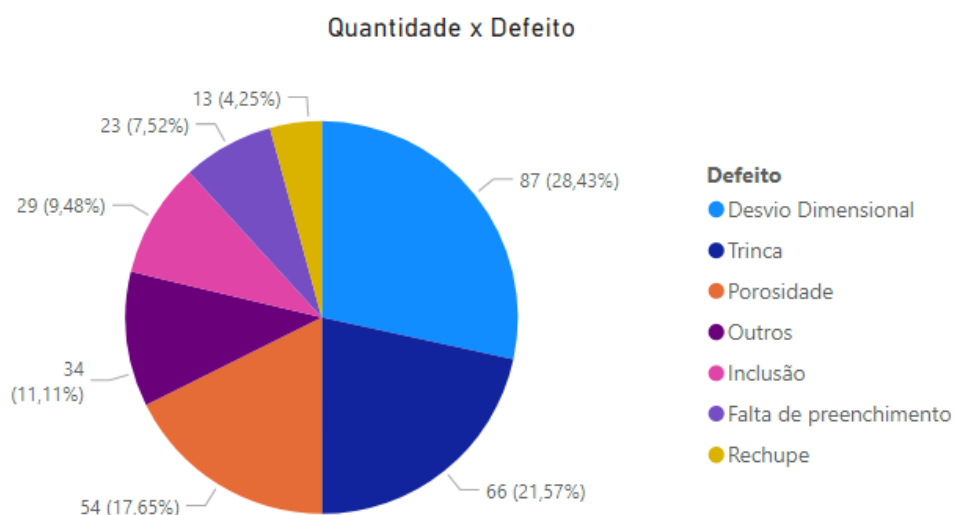
Figura 20 – Diagrama de Pareto dos defeitos de fundição



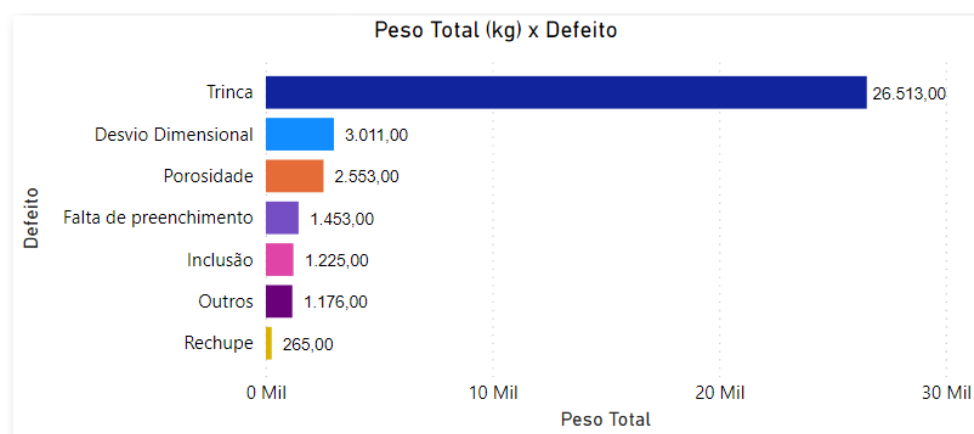
Fonte: Autoria própria

A partir do gráfico exposto acima, é possível observar que os desvios dimensionais é o principal defeito encontrado no período em estudo, em 87 peças que representam 28,43% do total de refugo, seguido de trincas e porosidades com 66 e 54 aparições, respectivamente. A soma acumulada desses três defeitos representa 67,65% de todo o refugo da empresa durante os quatro meses investigados. Sendo assim, por serem os defeitos com maior incidência, foram classificados como defeitos críticos e por esse motivo serão analisados de forma mais detalhada ao longo dessa discussão.

Após identificação dos defeitos críticos via diagrama de Pareto, analisou-se a influência em peso que esses defeitos tiveram em relação ao total de peças refugas nos meses de julho a outubro. Na Figura 21 é possível observar um gráfico com o total de peças refugas em relação a cada um dos defeitos observados, já no gráfico da Figura 22 tem-se essa mesma relação, porém no que se refere ao peso (em kg) de peças refugas.

Figura 21 – Quantidade de peças refugadas por defeito (%)

Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Peso de peças refugadas por defeito

Fonte: Autoria própria

Comparando-se os dois gráficos é possível notar que o defeito de desvio dimensional, que apresentou a maior incidência quando levado em consideração a quantidade de peças refugadas, apresentou em peso, apenas 3,01 mil kg, ou seja, aproximadamente 8,5% do total de 36,2 mil kg refugados. Já o defeito de trincas, que apresentou uma quantidade de peças refugadas inferior ao de desvio dimensional, apresentou um valor em peso de 26,51 mil kg, 73,23% do total. Esse é um valor extremamente relevante, visto que, o defeito de porosidade que obteve

uma quantia de peças refugadas próxima ao de trincas, apresentou apenas 2,55 mil kg de refugo, cerca de 9,6% do total.

Essa notável discrepância acerca da quantidade, em peso, de peças refugadas por trincas em relação aos demais defeitos podem ser explicada levando em consideração um fator relevante exposto anteriormente sobre o modelo de produção seguido pela empresa. Por não possuir uma produção em série, a variedade de peças é consideravelmente alta. Dessa forma, existe uma diversidade de geometrias de peças fundidas que segue a mesma pluralidade, podendo haver peças com pouco mais de 1 kg, como as bombas de leite citadas anteriormente, até carcaças utilizadas para bombeamento de água que chegam a 3.600 kg. Portanto, a elevada taxa de peças refugadas por trincas quando levado em consideração o peso, está diretamente associada ao fato de que fundidos de grandes dimensões foram descartados.

Figura 23 – Conjunto de carcaças utilizada para bombeamento de água



Fonte: Arquivos internos da empresa

Na Figura 23 estão expostas a parte inferior de carcaça modelo 507.014.880.200 e a parte superior modelo 507.014.881.200, ambas fundidas em liga duplex de 5A que possuem 3.600 kg e 1.786 kg, respectivamente. Ao todo foram refugadas duas carcaças inferiores e uma superior, somando um total de aproximadamente 8.986 kg. Nota-se que apenas essas três peças representam

quase um terço da quantidade, em peso, de peças refugadas por motivos de trincas, o que acaba sendo extremamente relevante.

Na Figura 24 é exibido um suporte de tubos modelo 076173C001 TS-1 fabricado em liga de E2848WCO utilizados para sustentar serpentinas de fornos petroquímicos. Apenas no mês de julho foram refugadas 5 peças contabilizando um total de 8.700 kg.

Figura 24 – Suporte de tubos utilizados em fornos petroquímicos



Fonte: Autoria própria

Já nas Figuras 25 e 26 são mostrados os suportes de tubo modelo 053-4-S-09 e os suportes de fornos modelos F-7 e F-8 ambos fabricados em liga de HK40 e utilizados em fornos petroquímicos, todos refugados por conta de trincas. Cada peça do modelo 053-4-S-09 possui um peso estimado de 276 kg sendo que ao total foram refugadas 10 peças, totalizando algo próximo de 2.760 kg. Por outro lado, os suportes do modelo F-7 e F-8 totalizaram 769 kg de refugo.

Figura 25 – Suporte de tubos utilizado em fornos petroquímicos apresentando trincas



Fonte: Autoria própria

Figura 26 – Suportes utilizados em fornos petroquímicos após ensaio de líquido penetrante



Fonte: Autoria própria

Os rotores de modelo 15-4103 fabricados em liga de CW12MW apresentados na Figura 27 foram refugados 8 vezes ao longo do período em estudo. Cada rotor possui um peso aferido de aproximadamente 370 kg, contabilizando 2.960 kg.

Figura 27 – Rotores com trincas na região interna após tratamento térmico



Fonte: Autoria própria

A última peça apresentada, conforme mostrado na Figura 28, é de um rotor de sucção modelo 104.523.290.300 também fundido em liga duplex 5A. Desse modelo foram refugadas 2 peças por conta de trincas após tratamento térmico.

Figura 28 – Rotor de Sucção com trincas após tratamento térmico



Fonte: Autoria própria

Contudo, mesmo após toda essa diversidade discutida acima, deve-se levar em consideração que mesmo alterando o parâmetro de comparação, os três defeitos

críticos (trincas, porosidade e desvio dimensional), continuaram em evidência, reafirmando o fato de que ambos devem ser tratados com prioridade. É importante ressaltar que o balanço de dados com base no peso dos materiais possui maior relevância quando se busca obter informações dos custos envolvidos em cada tipo de material. Agora, no propósito de diminuir a incidência de refugos, uma análise com base na quantidade de peças refugadas acaba sendo mais vantajosa.

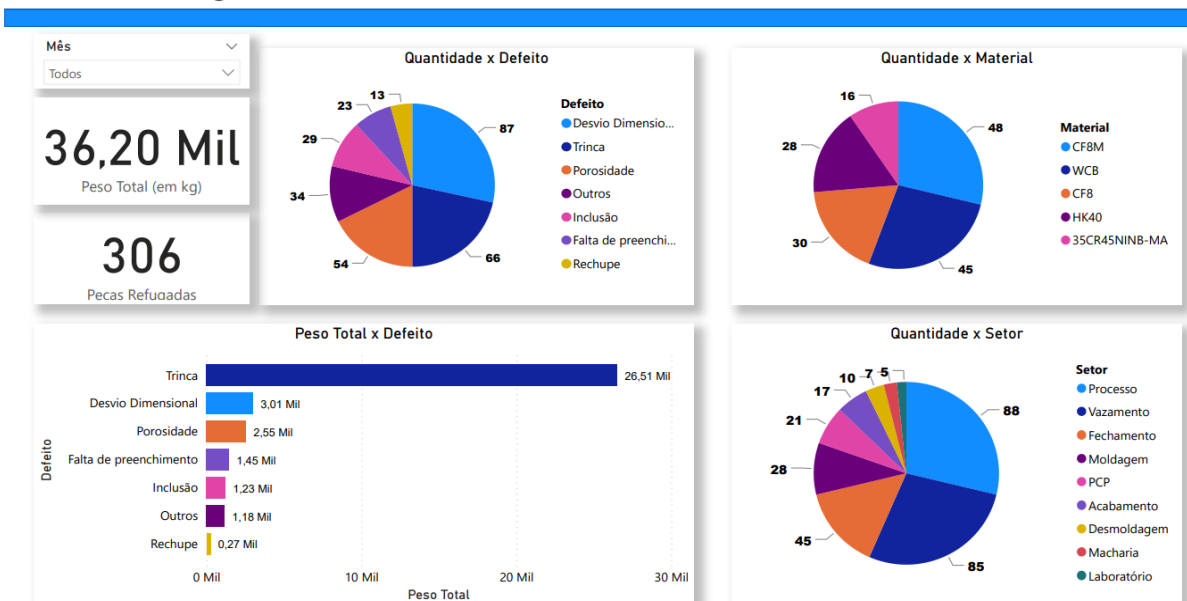
6.4 Identificação das causas de refugo via diagrama de Ishikawa

A partir do diagrama de Pareto foi possível determinar que os desvios dimensionais, porosidades e trincas representam a maior parcela dos defeitos da empresa, somando um total de 207 peças das 306 refugadas, o que indica que os mesmos devem ser tratados com prioridade frente os outros defeitos detectados.

Dessa forma, foi elaborado um painel denominado de “Análise dos Refugos” conforme mostrado na Figura 29, com alguns indicadores para auxiliar nas discussões acerca da identificação das principais causas que contribuem para os surgimentos de tais defeitos via diagrama de Ishikawa. Esse painel contém informações da quantidade de peças refugadas por defeito, quantidade de peças refugadas por material, levando em consideração apenas os cinco principais, visto que, a diversidade de materiais refugados foi muito grande, quantidade de peças refugadas por setor e o peso total de peças refugadas por defeito.

Figura 29 – Painel com indicadores de refugo dos meses de julho a outubro

Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Nota-se que o setor responsável por o maior número de peças refugadas foi o de processo com 88 peças, seguido dos de vazamento e fechamento com 85 e 45 peças, respectivamente. Além disso, é possível observar que os principais materiais refugados foram o CF8M com 48 peças, WCB com 45 peças, CF8 com 30 peças, HK40 e 35Cr45NiNB-MA com 28 e 16 peças, respectivamente.

Observa-se que a quantidade total, em peso, de material refugado foi de aproximadamente 36.200 kg. A título de comparação, a empresa possui 6 fornos de fusão por indução, sendo 4 com capacidade de 1.000 kg de material e 2 com capacidade de 2.500 kg. Dessa forma, tais quantidades de refugo equivalem a produção de 36 fornos de 1 tonelada, ou então a aproximadamente 7 fornos de 2,5 toneladas, o que demonstra a grande quantidade de material que foi descartado ao longo desses 4 meses.

Para se ter um panorama mais detalhado, elaborou-se um painel de análise de refugo para cada um dos meses em estudo, para observação de como se deu o progresso dos refugos ao longo do tempo, identificando quais setores, defeitos e materiais tiveram maior relevância em cada mês.

Figura 30 – Indicadores de refugo referente ao mês de julho

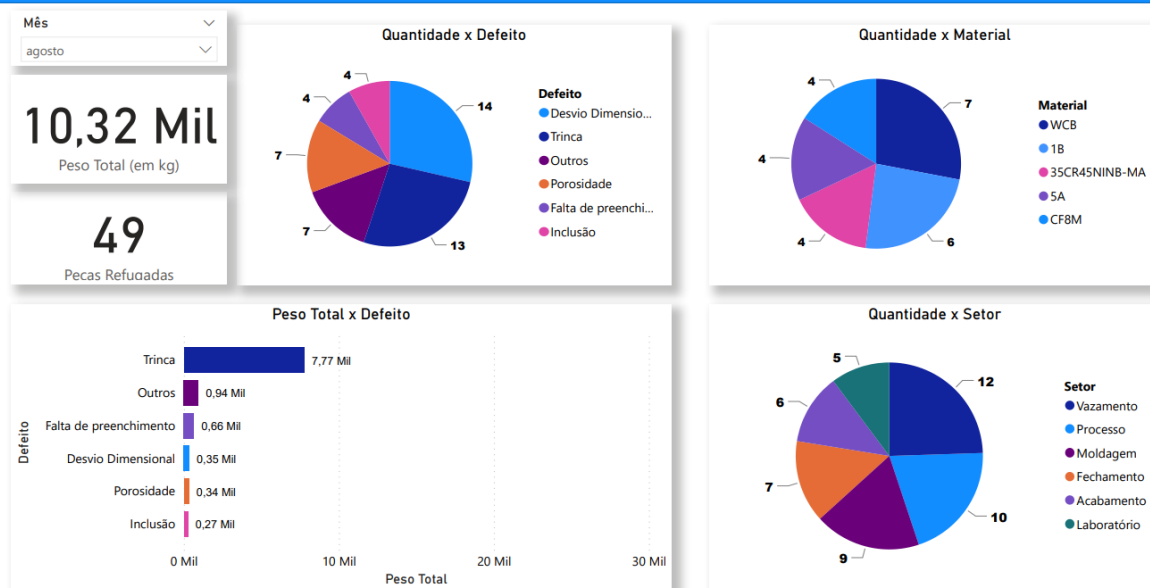
Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Figura 31 - Indicadores de refugo referente ao mês de agosto

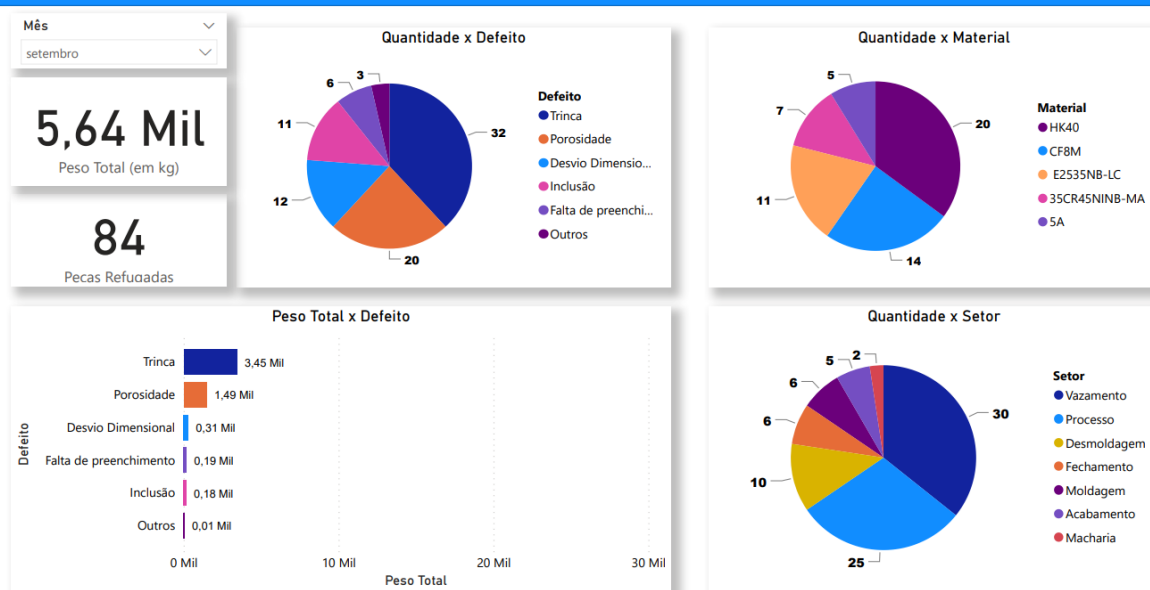
Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Figura 32 - Indicadores de refugo referente ao mês de setembro

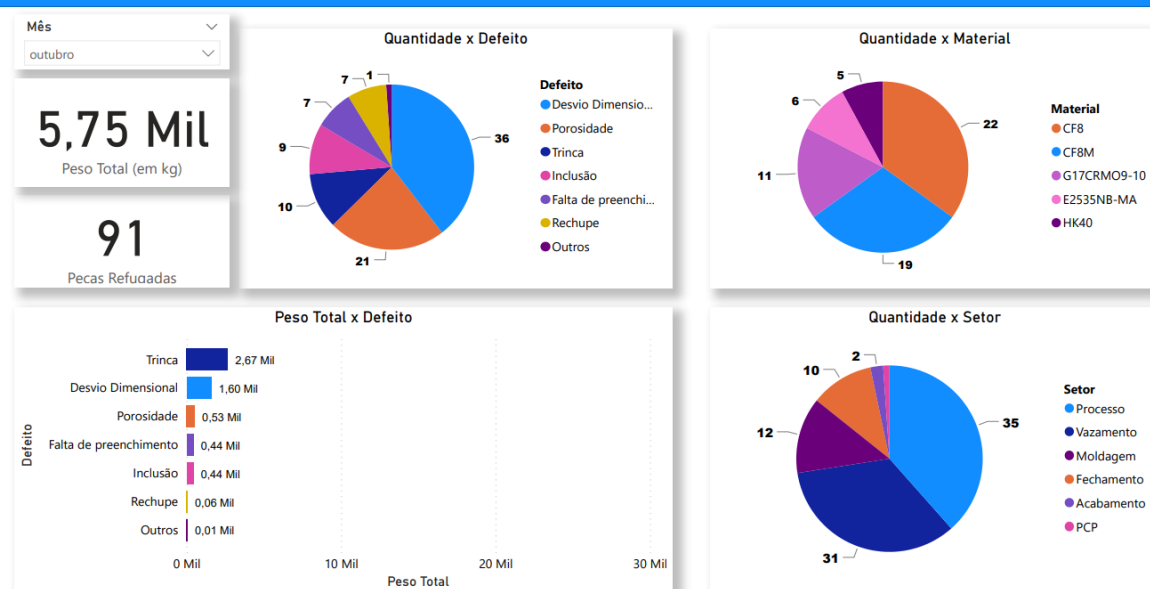
Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Figura 33 - Indicadores de refugo referente ao mês de outubro

Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Analisando os indicadores do mês de julho, nota-se que foi o período com maior incidência de refugo em peso, com 14,49 mil kg de material refugado, sendo

12,62 mil kg só referente a trincas. O material que mais apresentou peças refugadas foi o WCB com 31 peças de um total de 82. Os setores com maior incidência foram o fechamento com 22 casos seguido de PCP e processo com 20 e 18 peças, respectivamente.

Já para o mês de agosto, totalizou-se 10,32 mil kg de refugo referentes à 49 peças. A liga de WCB também foi a que obteve maior incidência com 7 casos, porém as ligas de 1B, 35CR45NINB-MA, 5A e CF8M, tiveram ocorrências bem próximas. Já com base nos setores, vazamento, processo e moldagem foram os três principais.

Em setembro, houve uma queda extremamente significativa na quantidade em peso de refugo, de 10,32 mil kg para 5,64 mil kg, uma diminuição de quase 50%, por sua vez, o número de peças foi bem superior, somando 84 peças refugadas. Em relação aos materiais, a liga de HK40 foi a que teve maior incidência com 20 refugos, seguida de CF8M e E2535NB-LC com 14 e 11 peças, respectivamente. Os setores de maior relevância no mês foram vazamento e processo que somaram 55 peças ao total.

Por fim, no mês de outubro foram refugados 5,75 mil kg, mantendo a média do mês anterior. As ligas de CF8 e CF8M apresentaram as maiores ocorrências com 22 e 19 peças refugadas, respectivamente. Já na quantidade de refugo por setor, processo e vazamento, assim como em setembro, ficaram no topo da lista sendo responsáveis por praticamente 70% de todo refugo.

Com relação aos defeitos, é importante ressaltar que os desvios dimensionais foram o defeito de maiores incidências nos meses de julho, agosto e outubro. Somente em setembro o defeito de trinca teve uma aparição maior com 32 casos frente aos 12 casos de desvios.

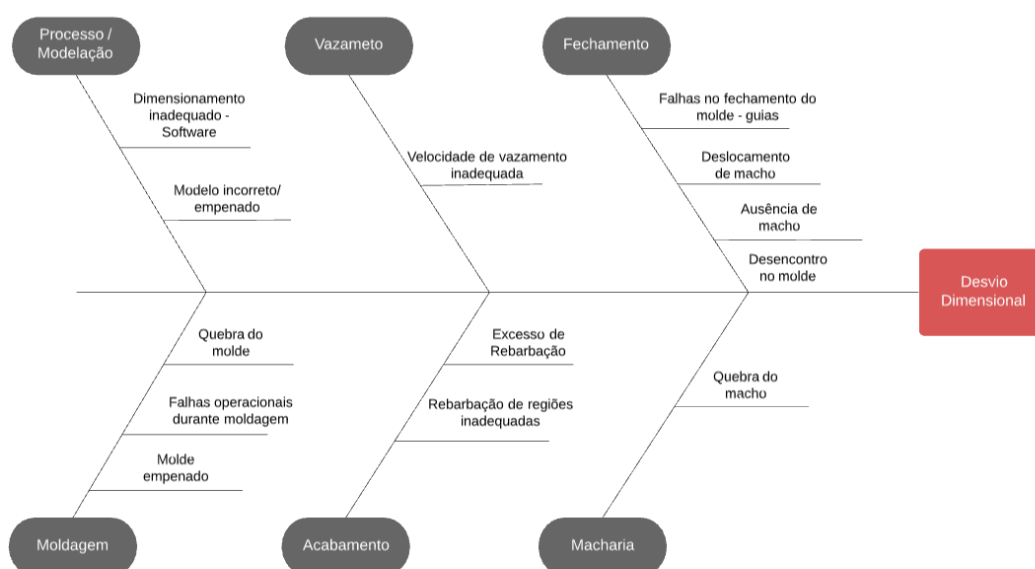
O estudo desses indicadores foi de grande importância para realização do diagrama de Ishikawa, visto que, a partir deles foi possível filtrar informações de grande relevância que foram utilizadas para auxiliar na busca das possíveis causas de refugo dos principais defeitos encontrados.

Após toda investigação realizada acerca dos refugos, foi elaborado um diagrama de Ishikawa para cada um dos três defeitos críticos. Na sua construção, definiu-se que as categorias utilizadas para posterior definição das causas seriam cada um dos principais setores, determinados com base nos indicadores discutidos.

Essa estruturação, dada a diversidade de informações obtidas devido à metodologia de fabricação da empresa, foi a que melhor se adequou aos dados coletados.

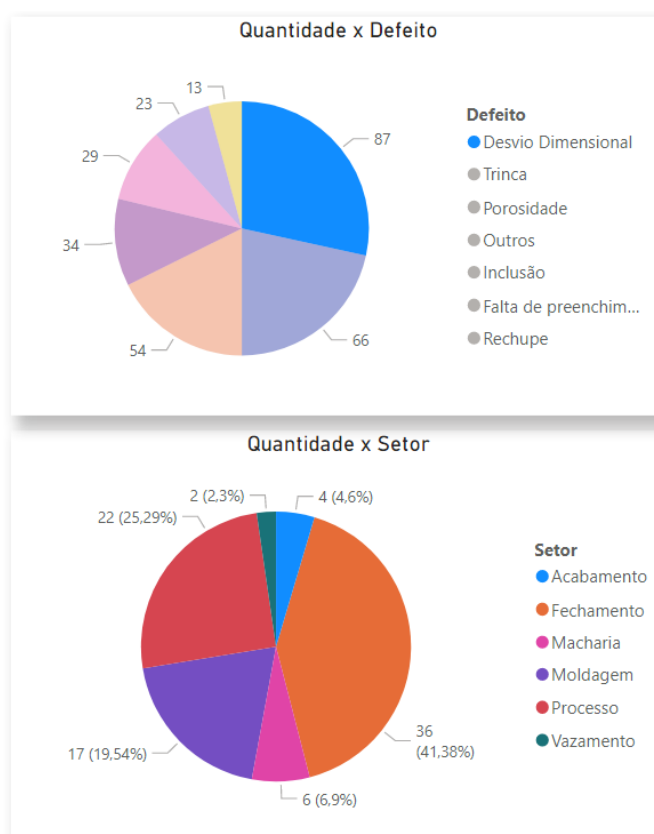
Para elaboração do diagrama de Ishikawa para o defeito de desvios dimensionais apresentado na Figura 34, foram utilizados os seguintes setores: processo, fechamento, moldagem, acabamento, vazamento e macharia. Na figura 35 é possível observar dois gráficos, que demonstram que apenas esses setores tiveram incidência de refugos por tal motivo.

Figura 34 – Diagrama de Ishikawa para o defeito de desvio dimensional



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Relação de setores associados ao defeito de desvio dimensional



Fonte: Autoria própria

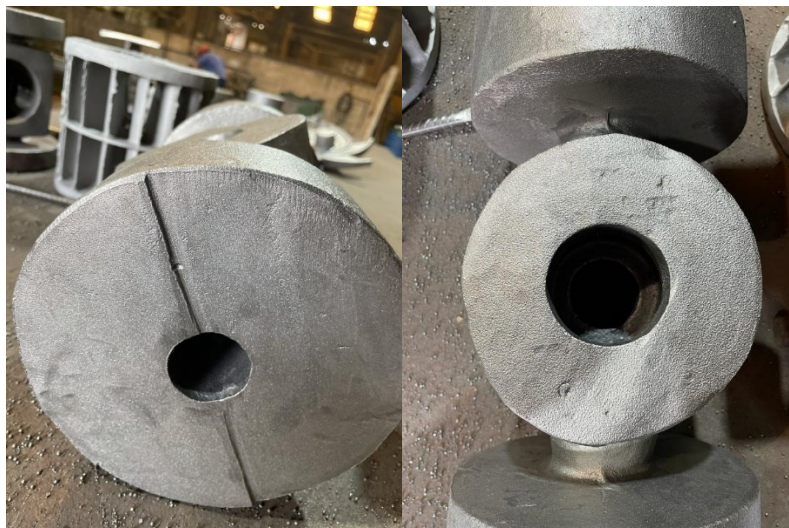
Nota-se que há uma grande incidência de defeitos de desvios dimensionais para o setor de fechamento. Esse grande número de ocorrências, conforme descrito no diagrama de causa e efeito, advém das seguintes causas: falhas durante fechamento do molde devido a utilização de guias inadequadas e/ou desgastadas, deslocamento de macho por conta de falhas na hora de prendê-los no molde ou por ausência de travas adequadas, ausência de macho no molde por conta de descuido dos operadores que não se atentaram na hora de fechar o molde e desencontro do molde causado por falhas na hora do fechamento do mesmo. Nas Figuras 36 e 37 são exibidas algumas imagens de peças que apresentaram desvio dimensionais.

Figura 36 – Castelos com deslocamentos devido à utilização de guias inadequadas



Fonte: Aatoria própria

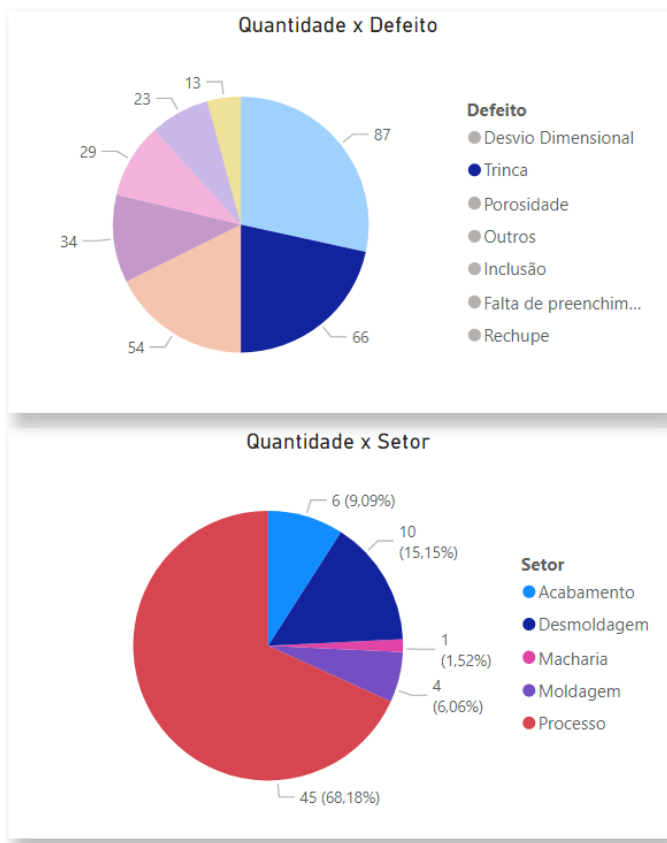
Figura 37 – Peça apresentando deslocamento devido à utilização de guias desgastadas



Fonte: Aatoria própria

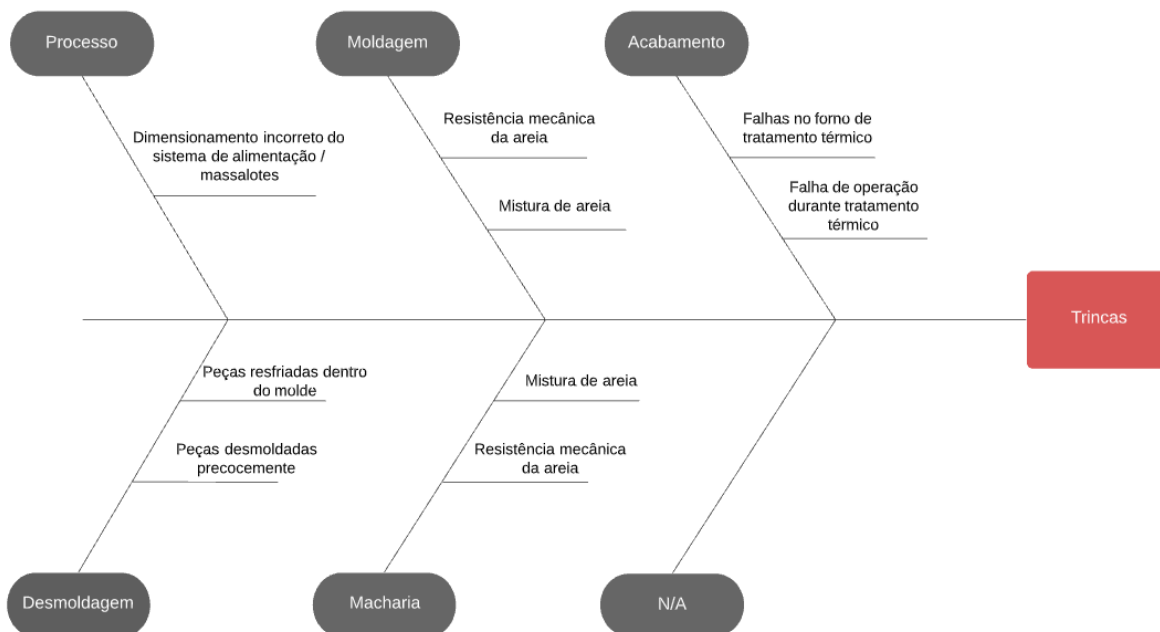
Já para elaboração do diagrama de Ishikawa para o defeito de trincas apresentado na Figura 39, foram utilizados os seguintes setores: processo, moldagem, acabamento, desmoldagem e macharia.

Figura 38 - Relação de setores associados ao defeito de trincas



Fonte: Autoria própria

Figura 39 – Diagrama de Ishikawa para defeito de trincas



Fonte: Autoria própria

Observa-se que para o defeito de trincas, o setor de processo foi o mais relevante, com 45 peças refugadas no total de 66. Essa grande incidência está relacionada a dois grandes fatores. O primeiro e principal está relacionado com questões de dimensionamento de canais de alimentação e massalotes, como é o caso das peças apresentadas na Figura 40, pois em grande parte dos refugos, como ação corretiva, foram alterados posicionamento de massalotes, canais de ataque, local de vazamento e tamanho de massalote, uma vez que, todos esses fatores influenciam diretamente na contração do material durante o resfriamento/solidificação. O outro fator, embora tenha ocorrido em menor escala, está associado ao fato de terem ocorrido erros durante o cálculo de contração do material.

Figura 40 – Suportes de tubo com trincas nas regiões próximas aos massalotes e canais de ataque



Fonte: Autorial própria

A identificação da causa raiz do defeito de trinca em certos casos é complexa, visto que, um conjunto de razões pode ter levado ao aparecimento da mesma. Realizando o levantamento das causas notou-se que em alguns casos, como o da peça apresentada na Figura 41, a trinca é detectada após ensaios não destrutivos com líquido penetrante e raios X e ocorreram após retrabalhos na região em questão. Dessa forma, observou-se que a peça apresentou inicialmente inclusões de areia, e após terem sido retrabalhadas acabaram trincando durante etapa de abertura de cavidade, para remoção dessa areia aderida, ou durante etapa de soldagem, para fechamento da mesma. Isso demonstra que nem sempre existe apenas um setor responsável pelo defeito, o que reforça a necessidade de se ter um

trabalho em conjunto entre os setores, para que se possa identificar o real motivo do aparecimento do defeito.

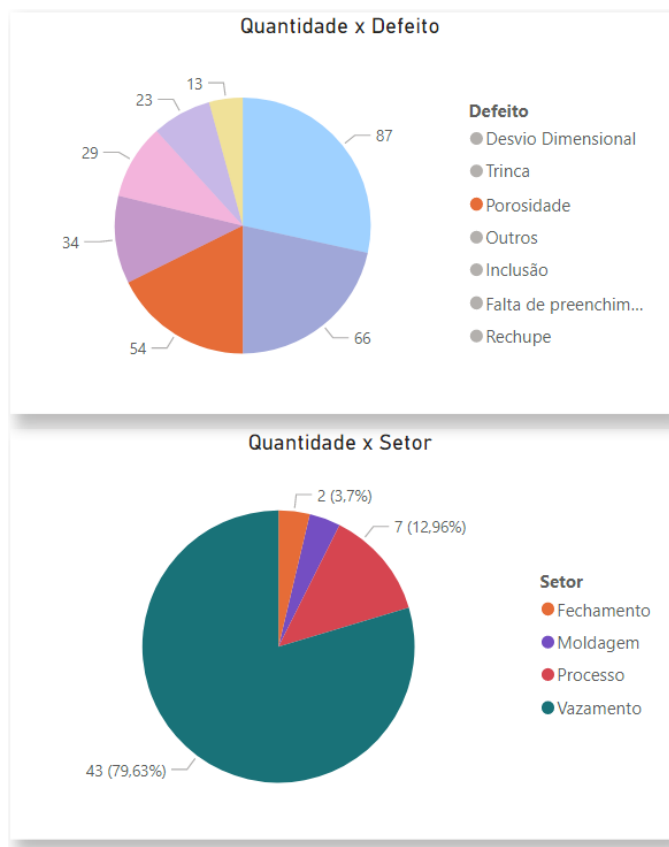
Figura 41 – Curva 180° com olhal utilizada em fornos petroquímicos. Na primeira imagem foi detectada inclusão de areia após ensaio de líquido penetrante, já na segunda imagem a mesma peça apresentou trincas após tentativa de retrabalho



Fonte: Autoria própria

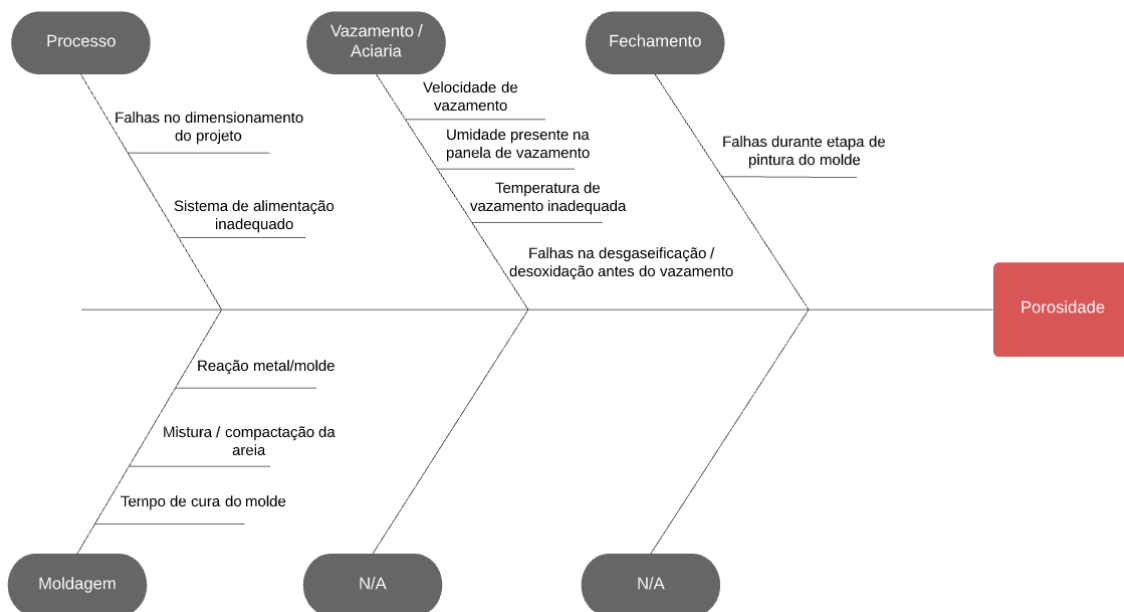
O terceiro e último defeito analisado foi de porosidade. Como mostrado na Figura 42, o setor que teve maior incidência de refugos foi o vazamento com 43 peças de um total de 54 descartadas, seguido do processo com 7 peças. Esse foi o defeito que apresentou o menor número de setores envolvidos, apenas 4, o que demonstra que as ocorrências estão localizadas em departamentos específicos.

Figura 42 - Relação de setores associados ao defeito de porosidade



Fonte: Autoria própria

Figura 43 - Diagrama de Ishikawa para defeito de porosidade



Fonte: Autoria própria

Na Figura 43, é mostrado o diagrama de Ishikawa para o defeito de porosidade. Durante levantamento das causas que acarretaram o surgimento desse defeito, notou-se que grande parte das ocorrências estavam associadas às seguintes falhas: erros no processo de desoxidação do metal líquido, temperaturas inadequadas de vazamento e falhas de operação durante vazamento do metal líquido da panela no molde. Tais falhas acarretaram em velocidades inadequadas de vazamento e conseqüentemente num fluxo não laminar de alimentação, dificultando que os canais ficassem cheios durante o vazamento, o que facilitou a entrada de ar. Além disso, houve diversos casos em que foi identificada a necessidade de alterar o sistema de alimentação para evitar regimes turbulentos durante o vazamento do metal. Também foram realizadas alterações no projeto no que diz respeito à adição de respiros em regiões estratégicas para auxiliar na saída de gases que por ventura estavam ficando alojados durante o processo de fundição.

Assim como no defeito de trinca, a identificação da causa raiz do defeito de porosidade é, muitas vezes, difícil de ser apurada, visto que, sua origem pode estar vinculada a inúmeras variáveis do processo. Tal dificuldade faz com que em alguns casos ocorra uma reincidência de refugo de determinadas peças, mesmo após ações corretivas terem sido adotadas.

Na Figura 44 são mostradas duas peças que após abertura de cavidade apresentaram poros por conta de falhas durante a desoxidação do banho metálico.

Figura 44 – Peças com poros devido erro durante desoxidação do banho metálico



Fonte: Autoria própria

6.5 Precificação dos refugos

Como forma de mensurar o impacto que o refugo de peças causa na saúde financeira da empresa, foi realizado um levantamento dos custos industriais envolvidos na produção com o objetivo de precificar os gastos envolvidos nesses descartes.

Esse custo industrial abrange todas as despesas relacionadas à produção, levando em consideração custos de mão de obra, custos fixos e variáveis daquele mês em específico. Para chegar ao valor final, esse custo de produção é dividido pelo total (em kg) de peças pesadas limpas (sem massalote, canais de alimentação, etc.). Dessa forma, tem-se um valor de custo industrial por kg de material multiplicado pelo total (em kg) de refugo alcançado em cada um dos meses em questão, obtendo-se assim um custo de refugo mensal.

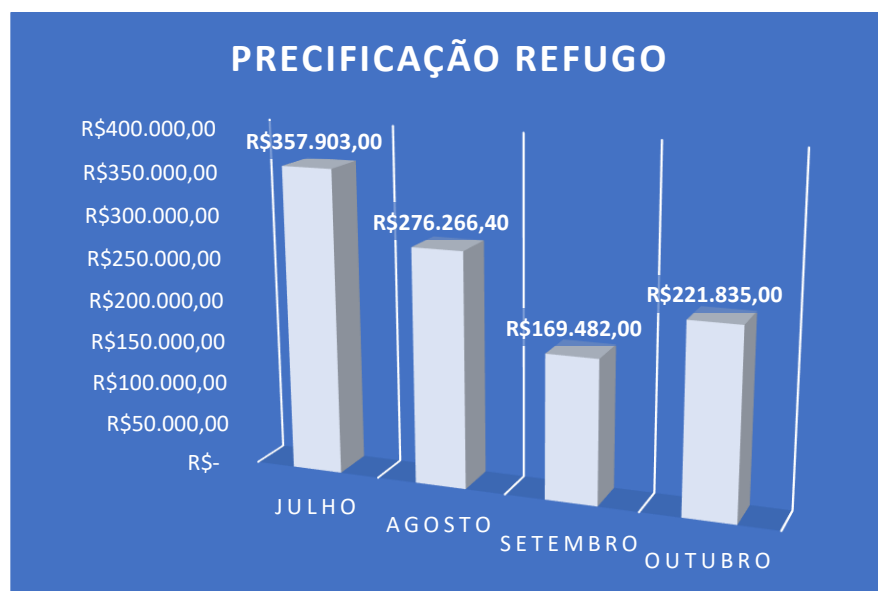
Contudo, vale ressaltar que realizando a precificação dessa forma, leva-se em consideração que todas as peças refugadas passaram por todas as etapas de produção, algo que na prática não acontece. Porém, o sistema interno utilizado pela empresa não possui disponibilidade de realizar apontamentos de cada uma das etapas pela qual a peça passou e dessa forma, fica inviável apontar com exatidão qual o percurso que a peça fez antes de ser refugada. No entanto, utilizando-se a mesma métrica de precificação para todos os meses, é possível obter um comparativo aceitável para discussão.

Outro ponto importante, é que nesses custos industriais não são levados em consideração os custos de usinagem, pois tais gastos são calculados separadamente em uma outra planilha de controle. Todavia, a quantidade de refugos de peças após usinagem é significativamente baixa, visto que, em suma maioria as peças estáticas são usinadas pelo próprio cliente.

Feita as considerações expostas acima, foi elaborada a precificação dos refugos dos meses de julho a outubro, conforme mostrado na Figura 45. Nota-se que os valores são consideravelmente altos, tendo em julho o pior mês com R\$ 357.903,00. Porém, mesmo que tais custos sejam efetivamente os valores reais desembolsados pela empresa por conta dos refugos, acredita-se que a variação, caso fosse realizado um rastreamento da etapa em específico em que cada peça foi refugada, não seria tão discrepante dos dados obtidos via cálculo pelo custo

industrial, pois nessa precificação não foi levado em consideração as peças refugadas advindas de devoluções de clientes, nem as peças refugadas provenientes do setor de centrifugação, tendo em vista que ambas também contribuem de forma significativa nos custos totais de refugo.

Figura 45 – Precificação dos refugos para cada um dos meses em análise



Fonte: Autoria própria

Dessa forma, a partir dos valores expostos, fica evidente que o refugo é algo que influencia de forma inquestionável no balanço financeiro mensal, o que reitera ainda mais a necessidade de que o assunto seja ser tratado com atenção pelos setores responsáveis, pois atinge diretamente a lucratividade da empresa.

6.6 Elaboração do plano de ação

Baseado em toda a discussão realizada nos tópicos antecedentes acerca dos refugos, em conjunto com os dados obtidos a partir dos indicadores elaborados via *Power BI*, obteve-se uma quantidade significativa de informações pertinentes que auxiliaram na elaboração de um plano de ação com possíveis melhorias a serem aplicadas pela empresa, afim de reduzir a incidência de refugos e consequentemente, o índice de refugo mensal. Vale destacar, que além de todas informações discutidas, foi levado em consideração a vivência e as experiências adquiridas ao longo desses meses de trabalho na empresa, especificamente na área

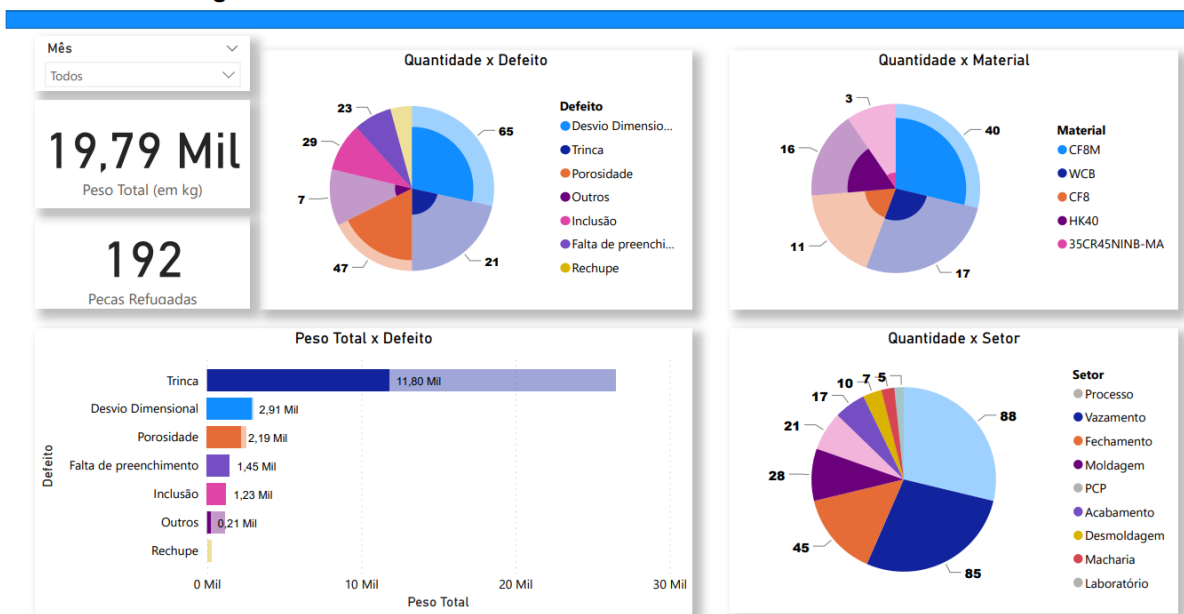
que controle da qualidade, que contribuíram diretamente na identificação de possíveis oportunidades de melhorias em toda linha de produção.

Como já foi citado anteriormente, por se tratar de uma empresa que não trabalha com uma produção em série, a elaboração de melhorias com o intuito de diminuir a ocorrência de refugos acaba sendo ainda mais desafiadora, visto que, a diversidade de peças, materiais e defeitos é grande, o que acaba fazendo com que as ações, em muitos casos, se tornem de certa forma específicas para cada caso de refugo.

Além disso, outro fator relevante que foi levado em consideração na elaboração desse plano de ação, é que a produção da empresa é significativamente manual, ou seja, as causas de defeitos identificadas e discutidas a partir do diagrama de Ishikawa ocorreram por conta de erros operacionais, o que acaba dificultando ainda mais a criação de procedimentos de melhorias, visto que, deve-se levar em consideração eventuais falhas operacionais dos colaboradores durante a produção. Como forma de exemplificar a relevância dos erros operacionais, a Figura 46 mostra os refugos pertinentes aos setores de vazamento, fechamento, macharia, moldagem, acabamento e desmoldagem, os quais são em essência processos manuais. Observa-se que 192 das 306 peças refugadas no período em análise estão associadas a esses setores, o que demonstra um grande efeito dos erros operacionais sob os resultados finais de refugo da empresa.

Figura 46 – Indicadores de refugos referente aos setores que possuem atividades essencialmente manuais

Análise dos Refugos



Fonte: Autoria própria

Dada as devidas considerações, para o desenvolvimento de um plano de ação com possíveis melhorias a serem aplicadas para diminuir a incidência de refugos, optou-se por propor ações que teriam um baixo impacto operacional para serem implementadas e que, ao mesmo tempo, trariam resultados a curto prazo. Assim, por se tratar de um problema rotineiro e de grande impacto financeiro, não seria pertinente estruturar melhorias que demandariam um alto investimento e um longo prazo para serem implementadas.

Fundamentadas nas discussões realizadas ao longo desse trabalho e em conjunto com experiências vivenciadas na empresa, as seguintes propostas de melhorias foram elaboradas:

1. Maior integração do setor de PCP junto ao Controle da Qualidade: como o PCP é o setor responsável pela programação das peças que serão fabricadas, seria interessante que o mesmo encaminhasse diariamente ao Controle da Qualidade um cronograma com as peças de reposição de refugo que serão vazadas no dia. Dessa forma, a

Qualidade teria informações suficientes para poder atuar diariamente no supervisionamento dessas peças, afim de verificar se as ações corretivas foram realmente implementadas e se foram satisfatórias.

2. Identificação das reposições de refugo: observou-se que quando ocorre o vazamento das reposições de refugo, não há nenhuma identificação física na peça que revele que a mesma deriva de um refugo. Tem-se apenas uma menção na etiqueta colocada na caixa do molde, porém após o vazamento perde-se a rastreabilidade da peça. Sendo assim, seria pertinente adicionar uma letra “R” no modelo da peça que será repostada, para que assim ela tenha uma identificação fixa na sua superfície e possa ser reconhecida durante todo o processo dentro da empresa. Tal ação auxiliaria no acompanhamento da peça, além de facilitar a sua identificação por parte dos colaboradores, para que os mesmos possam dar-lhe prioridade, visto que, peças refugadas ocasionam atraso nos prazos.

3. Implementação de evidências nos Relatórios de Não Conformidade (RNC): o relatório de não conformidade é um documento interno que é aberto toda vez que uma peça é refugada. Nele consta o defeito encontrado, a causa e qual será a ação corretiva adotada. Porém, foi observado que em muitos casos, as respostas detalhadas nesses relatórios não eram satisfatórias ou não condiziam com os defeitos encontrados na peça. Isso acaba influenciando diretamente na incidência de refugos, pois caso a ação corretiva não seja correta, a probabilidade do defeito vir a aparecer novamente é alta. Dessa forma, a incorporação de um tópico de evidências no relatório de não conformidade faria com que os responsáveis tivessem que comprovar mediante fotos e documentos, a identificação da causa do defeito, bem como das ações corretivas adotadas. Dessa forma, como a identificação de defeitos de trincas e porosidades em muitos casos é difícil de ser apurada, visto que, sua origem poder estar relacionada a

inúmeras variáveis, o rigor na identificação das reais causas e nas ações corretivas é de grande importância para sanar as suas aparições. Além disso, tais ações iriam auxiliar na formalização das ações praticadas, já que os setores de moldagem, macharia, fechamento, vazamento e aciaria não possuem um documento que oficializa as ações corretivas implementadas, ao contrário do setor de processo, em que sempre que há uma alteração de dimensionamento de projeto, por exemplo, registra tais alterações no desenho da peça, fazendo com que não seja necessário lembrar que determinadas ações foram realizadas em futuras produções.

4. Adição de informações na etiqueta de identificação: conforme descrito no item 2, a etiqueta de identificação é uma ficha que vai colada junto ao molde com informações relevantes da peça que será fundida, tais como: corrida, programa de produção, temperatura de vazamento, peso, quantidade de peças, etc. Por estar visível a todos, seria pertinente adicionar uma descrição de “Ações corretivas implementadas” para casos em que a peça em questão tenha sido refugada, para que os colaboradores ao verem tal observação, fiquem cientes de que alguma mudança foi feita no projeto da peça ou algum cuidado especial deve ser tomado. Dessa forma, os colaboradores poderiam se inteirar dos cuidados que devem ser tomados durante a produção da peça em questão, uma vez que, como mencionado, grande parte dos refugos estão relacionados a erros operacionais.

5. Banco de dados de RNC compartilhado: essa medida seria complementar ao item 4, pois após o reconhecimento de que determinada peça teve alguma ação corretiva implementada, via etiqueta de identificação, o responsável pelo setor deve ter acesso aos relatórios de não conformidade arquivados afim de verificar quais ações foram tomadas naquele caso.

As sugestões apontadas possuem como viés, a intenção de diminuir a incidência de possíveis erros operacionais no processo produtivo. Essa foi a estratégia adotada para elaboração desse plano de ação, uma vez que, dada a grande variedade de peças que são refugadas na empresa, seria necessário estudar caso a caso e elaborar ações específicas para cada peça refugada. Contudo, expandindo-se o problema para uma visão mais macro, torna-se possível estruturar medidas que possam afetar a cadeia de produção como um todo, independentemente das características das peças produzidas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo dos resultados obtidos e discutidos ao longo desse trabalho, constata-se que a utilização de ferramentas da qualidade foi de grande valia para identificação, classificação e compreensão dos índices de refugo apresentado pela empresa no período de julho a outubro de 2021. Além disso, o *software Power BI* demonstrou ser um programa extremamente versátil na elaboração de painéis informativos, dada sua grande variedade de ferramentas, contribuindo especialmente na associação das inúmeras informações obtidas via planilhas internas.

Com o auxílio da folha de verificação, constatou-se que durante o período estipulado foram refugadas um total de 306 peças fundidas, sendo o mês de outubro o mais crítico, com 91 peças descartadas, representando quase 30% de todo o refugo estudado. Determinou-se via diagrama de Pareto que os três defeitos de maior incidência foram: desvios dimensionais, trincas e porosidades que somados corresponderam à 67,65% de todo refugo apresentado pela empresa. Logo após, a partir do diagrama de Ishikawa determinou-se as principais causas desses defeitos críticos, chegando-se à conclusão que tais defeitos advêm de falhas operacionais durante o processo produtivo.

A precificação dos refugos referentes aos meses em análise demonstrou que o impacto que as não conformidades causam no âmbito financeiro é extremamente relevante, tendo em vista que só no mês de julho tais custos chegaram a R\$357.903,00 e somando os valores calculados nos 4 meses de estudo, o prejuízo chega a R\$1.025.486,40, o que demonstra a importância de práticas que visem diminuir a incidência de refugos.

Na elaboração do plano de ação, levou-se em conta a dificuldade de implementação de melhorias específicas para cada um dos defeitos observados, devido principalmente à logística de fabricação adotada pela empresa, que faz com que se tenha uma variedade muito grande de peças fabricadas num curto período de tempo. Dessa forma, foram propostas melhorias com o intuito de diminuir a incidência de possíveis erros operacionais ao longo da cadeia de produção, independentemente do tipo de peça, peso, material e geometria.

8 CRONOGRAMA

No Quadro 1 é mostrado um cronograma das etapas de desenvolvimento desse trabalho.

Quadro 1 – Cronograma das etapas do trabalho.

Etapas da pesquisa	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Definição do tema					
Levantamento bibliográfico					
Elaboração do referencial teórico					
Levantamento dos dados de Refugo					
Aplicação das ferramentas da qualidade					
Discussão dos resultados					
Conclusão e formatação					
Apresentação TCC 2					

Fonte: Autoria própria

REFERÊNCIAS

AFS. **Mold & Core Coating Manual**. 2. ed. American Foundrymen's Society Publishing, 2000.

BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. ed. rev. – São Paulo: Érica, 2014.

BRAGA, Arnaldo F. Junior. **Defeitos em peças fabricadas pelo processo de fundição**. In. II Workshop LABMAT da área de fundição. Piracicaba. Disponível em: <http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/defeitos-em-pecas-fabricadas-peloprocesso-de-fundicao.pdf>. Acesso em: 11 de out. de 2021.

CAUSES of Die-Castings-Gas-Porosity and improvement measures, 2019. Disponível em: <http://www.moldmake.com/en/FAQ/Gas-Porosity-improve.html>. Acesso em: 03 nov. 2021.

Defeitos de solidificação. **CIMM – Centro de Informação Metal Mecânico**, 2010. Disponível em https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/6751-defeitos-de-solidificacao. Acesso em: 11 de out. de 2021.

Description of defects: Slag inclusions. Disponível em: <https://foundrygate.com/upload/artigos/Slag%20inclusions.pdf>. Acesso em 03 de nov. de 2021.

FUOCO, Ricardo. **Defeitos de fundição – Trincas**, 2014. Disponível em: <https://foundrygate.com/upload/artigos/Defeitos%20de%20Fundição%20-%20Trincas%20-%20Cintec%202014.pdf>. Acesso em: 11 de out. de 2021.

GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013.

LOBO, R. N. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Érica, 2010.

NETO, F. B.; MAGNABOSCO, R.; SILVA, A. L. V. C. **Avaliação de trincas a quente em fundidos de precisão em superligas por termodinâmica computacional**. 4º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265984743_AVALIACAO_DE_TRINCAS_A_QUENTE_EM_FUNDIDOS_DE_PRECISAO_EM_SUPERLIGAS_POR_TERMODINAMICA_COMPUTACIONAL. Acesso em: 11 de out. de 2021.

PEINADO, J. GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.

SANTANA, Adevanil dos Santos. **Identificação dos principais defeitos de fundição através da aplicação de ferramentas da qualidade: Estudo de caso em uma fundição de peças metálicas**. 2016. 109 f. TCC (Graduação) – Curso Engenharia de Produção, Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, 2016.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da Qualidade – As ferramentas essenciais**. 2º Ed. Curitiba: IBPEX, 2012

SHI, F. **Ceramic coating – Applications in Engineering**. InTech, 2012.

SIEGEL, M. *et al.* **Fundição. Notas de aulas**. ABM – Associação Brasileira de Metais. 13. ed. São Paulo. Édile Serviços gráficos e editora Ltda, 1982.

SÔNEGA NETO, Mário. **Defeitos de fundição de Ferro: o que você precisa saber**. Nova Veneza - Sc: Mademil: Solução em Polias, 2014. 16 slides, color. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/364136/>. Acesso em: 3 nov. 2021.

SOUZA, Ricardo Pires. **Otimização de parâmetros mecânicos e microestruturais dos moldes em areia de sílica ligados quimicamente pelo processo de cura a frio em fundição de aço**. 2015. 125 f. Dissertação (Doutorado) – Curso Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

TOLEDO, J. C.; BORRÁS, M. A. A; MERGULH, **Qualidade – Gestão e Métodos**.
Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 2017.