



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia da Qualidade 4.0



REDUÇÃO DE REFUGOS NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE COMPONENTES TERMOPLÁSTICOS

Fernando Diego Trujillo
Francisco Sérgio Vincentin
Guilherme Gralik
Mateus Rigo Franco
Moysés Godoy dos Santos

Curitiba
2023

Fernando Diego Trujillo
Francisco Sérgio Vincentin
Guilherme Gralik
Mateus Rigo Franco
Moysés Godoy dos Santos

REDUÇÃO DE REFUGOS NO PROCESSO DE INJEÇÃO DE COMPONENTES TERMOPLÁSTICOS

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Qualidade 4.0 - *Certificado Black Belt*. Curso de Pós-graduação *Lato Sensu*, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal doParaná.

Orientador: Prof. Dr. Walter Nikkel

**Curitiba
2023**

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela saúde e sabedoria para trilhar mais essa etapa. A nossos familiares por compreenderem a nossa ausência e nos apoiarem durante todo o percurso. Ao nosso orientador Prof. Dr. Walter Nikkel por seu direcionamento e disponibilidade. Ao coordenador do curso Prof. Dr. Pablo Deivid Valle pela motivação e dedicação em resolver os imprevistos que surgiram. Aos nossos colegas pelas conversas e trocas de experiências. A todos os professores que nos auxiliaram e sempre se mostraram amigáveis e dedicados.

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados da metodologia *Lean Six Sigma* aplicados com o objetivo de reduzir o índice de refugos do setor de injeção de uma empresa fabricante de produtos para aquecimento, proteção e instalação elétrica situada na região metropolitana da cidade de Curitiba. O projeto teve como objetivo reduzir o percentual de refugo dos componentes injetados da família de itens 3001 que são utilizados para a montagem dos produtos da linha de aquecimento, em 50%. Para tal, aplicou-se a Metodologia DEMAIC (*Define* – Definir; *Measure* – Medir; *Analyze* – Analisar; *Improve* – Melhorar; *Control* – Controlar). Com a aplicação da metodologia a redução total de refugos após implementação de todas as ações foi de 75.000 unidades o que perfaz, em valores atuais, o montante de aproximado de R\$ 20.005,00 (vinte mil e cinco reais), sendo este o ganho financeiro do projeto.

Palavras-chave: *Lean Six Sigma*; *Black Belt*.

ABSTRACT

The present work presents the results of the Lean Six Sigma methodology applied with the objective of reducing the rate of waste in the injection sector of a company that manufactures products for heating, protection and electrical installation located in the metropolitan region of the city of Curitiba. The aim of the project was to reduce the percentage of scrap of injected components from the 3001 family of items that are used to assemble heating line products by 50%. To this end, the DMAIC Methodology (Define – Define; Measure – Measure; Analyze – Analyze; Improve – Improve; Control – Control) was applied. With the application of the methodology, the total reduction of rejects after the implementation of all actions was 75,000 units, which amounts, in current values, to the approximate amount of R\$ 20,005.00 (twenty thousand and five Reais), which is the gain project finance.

Keywords: Lean Six Sigma; Black Belt.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Ciclo do processo de injeção	13
FIGURA 2 - Linha de injeção de termoplásticos.	15
FIGURA 3 - Controle de produção da linha de injeção	16
FIGURA 4 - Processo de alimentação dos dados de defeitos da linha de injeção	17
FIGURA 5 - Peças injetadas com diferentes tonalidades.....	17
FIGURA 6 - Peça injetada com rebarbas.....	18
FIGURA 7- Comparação entre uma peça completa (esquerda) e uma peça com falha (direita).....	19
FIGURA 8 - Peça com pontos de queima.....	19
FIGURA 9 - Contenedor com peças injetadas defeituosas.....	20
FIGURA 10 - Etapas do projeto Seis Sigma (DMAIC).....	21
FIGURA 11 - Série temporal.....	23
FIGURA 12 - Teste de normalidade de Ryan-Joiner.....	25
FIGURA 13 - Comportamento histórico entre o total produzido e o total de refugos gerados.....	27
FIGURA 14 - Teste de normalidade de Ryan-Joiner para os refugos.....	28
FIGURA 15 - Quantidade dos refugos gerados por atributos na produção total.....	29
FIGURA 16 - Relação da quantidade dos refugos gerados por atributos financeiros	30
FIGURA 17 - Probabilidade de Ocorrência de refugo.....	31
FIGURA 18 - Tipos de refugos referentes a linha de aquecimento.....	32
FIGURA 19 - Matriz SIPOC.....	33
FIGURA 20 - Etapas da fase de medição.....	35
FIGURA 21 - Carta I-AM da Quantidade de peças produzidas no período analisado.....	39
FIGURA 22 - Carta I-AM do total de refugos gerados no período analisado.....	39
FIGURA 23 - Nível Sigma.....	40
FIGURA 24 - Tipo de defeito por item da família 3001.....	41
FIGURA 25 - Diagrama de Ishikawa.....	41
FIGURA 26 - Peças defeituosas por operador.....	42
FIGURA 27 - Intervenções da manutenção corretiva.....	43

FIGURA 28 - Mapa do fluxo de processos.....	45
FIGURA 29 - Diagrama de dispersão de proporção de defeitos versus umidade.....	49
FIGURA 30 - Diagrama de dispersão de proporção de defeitos versus umidade.....	50
FIGURA 31 - Análise de correlação de Pearson.....	50
FIGURA 32 - Carta de controle para valores individuais de temperatura de secagem.....	56
FIGURA 33 - Processo de <i>Machine Care</i> para injetoras.....	57
FIGURA 34 - Teste de hipótese proporção defeitos.....	58
FIGURA 35 - Carta de Controle Proporção defeitos.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Produção mensal do setor de injeção	23
TABELA 2 – Médias da produção	24
TABELA 3 - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.....	24
TABELA 4 - Valores mensais injetados e os custos dos refugos gerados.....	26
TABELA 5 - Dados associados a produção e geração de refugos.....	26
TABELA 6 - Testes de normalidade de Shapiro-Wilk para os refugos.....	27
TABELA 7 - Estratificação dos dados referentes aos tipos de refugos gerados.....	29
TABELA 8 - Estratificação de refugos por família de produtos.....	32
TABELA 9 - Metas do Projeto.....	34
TABELA 10 - Nível sigma do processo produtivo.....	39
TABELA 11 - Comprovação da meta global.....	44
TABELA 12 - Análise do Modo de Falha – causas prováveis.....	46
TABELA 13 - Análise do Modo de Falha.....	47
TABELA 14 - Proporção de defeitos x unidade matéria-prima.....	48
TABELA 15 - Proporção de defeitos x unidade matéria-prima.....	49
TABELA 16 - Plano de Ação.....	54

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 HIPÓTESE.....	12
1.5 OBJETIVO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 PROCESSO DE INJEÇÃO.....	13
2.2 PROCESSO DE INJEÇÃO DA EMPRESA.....	14
2.2.1 Controle, tipos e causas das não conformidades.....	16
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 FASE DEFINIR (<i>Define</i>).....	21
3.1.1 Definição do problema.....	22
3.1.2 Apresentação etapa de projeto Define.....	34
3.2 FASE MEDIR (<i>Mesure</i>).....	35
3.2.1 Controle Estatístico do Processo por meio das Cartas de Controle.....	35
3.2.1Capabilidade do processo.....	38
3.3 FASE ANALISAR (<i>Analyse</i>).....	44
3.3.1 Levantamento das causas potenciais.....	45
3.4 FASE MELHOAR (<i>Improve</i>).....	51
3.4.1 Apresentação e execução do plano de ação.....	53
3.5 FASE CONTROLAR (<i>Control</i>).....	57
5. CONCLUSÕES.....	60
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

O mercado industrial vem se tornando cada vez mais competitivo e as empresas buscam reduzir seus custos de forma a atender a expectativa de lucro e ao mesmo tempo satisfazer às necessidades dos clientes. Manter um nível adequado de satisfação de qualidade com viabilidade econômica é um dos maiores desafios das indústrias atualmente, para auxiliar no alcance destas condições foi desenvolvido o *Kaizen*, que segundo Corrêa Netto e Vieira(2008) é uma filosofia mundialmente conhecida e largamente aplicável em pequenas e grandes organizações. A sua essência está no contínuo aperfeiçoamento do processo e, a cada melhoria implantada, é capaz de criar um novo padrão como referência.

O objetivo deste trabalho é detalhar o processo de implementação da metodologia *Lean Six Sigma* que é, dentre os programas de melhoria contínua um dos mais populares. Fundamentado em projetos de controle e gerenciamento da qualidade para aprimorar produtos e processos, aliado à aplicação de métodos estatísticos e ferramentas para controle da qualidade, o *Lean Six Sigma* possui ampla difusão para aumento de eficácia, eficiência e redução de perdas, e permite que as empresas obtenham melhores desempenhos.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A metodologia foi aplicada em uma empresa fabricante de produtos para aquecimento de água, proteção e instalação elétrica situada na região metropolitana de Curitiba, que se destaca como uma das líderes do segmento em território nacional.

A empresa busca, de forma contínua, a melhoria dos seus processos. Seu foco é o respeito total aos clientes. A partir desses valores, constantemente, aprimora suas atividades por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento - P&D, assim como, no reconhecimento e desenvolvimento dos seus colaboradores.

A empresa possui uma história de crescimento e desenvolvimento há mais de 25 anos. E a partir dessa vocação, são desenvolvidos, em torno de, dois mil produtos, atualmente, no seu parque fabril com mais de 50.000m². Pela credibilidade conquistada, respeito com os *stakeholders*, e referência de qualidade, expandiu os seus negócios para mais de 21 países, se tornando uma companhia internacionalizada.

Sempre acompanhando as tendências, com a preocupação em relação às futuras gerações, a empresa passa a incorporar a cultura ESG (*Environmental, Social and Governance*).

Neste modelo, com o compromisso na redução das emissões de carbono, a companhia busca, de forma contínua, a melhoria da eficiência operacional, como: redução de desperdícios, uso racional da energia elétrica, diminuição do consumo de água, preocupação com o bem-estar dos seus colaboradores, gestão eficiente dos resíduos sólidos, empenho com os preceitos da governança e controles internos, dentre outras ações, transformando essas ações, em missão.

A partir desses pressupostos, a empresa consolida-se cada vez mais, como uma das líderes desse segmento no mercado. Integrando ações de curto prazo, com visão de longo prazo, respaldadas pelo compromisso do ESG (*Environmental, Social, Governance*), torna-se uma empresa amigável e incentivadora para o desenvolvimento de projetos *Lean Six Sigma*.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Uma grande oportunidade de projeto está na redução de refugos gerados no processo de injeção dos componentes termoplásticos. A empresa começou a ter problemas com a produção, com uma tendência forte de queda, ocorrendo um aumento desproporcional da geração de refugos desse processo, conforme pode ser demonstrado pelo Indicador – *L. T. T.* (*Last Time Through*).

O *L. T. T.* mede a saída global dos componentes produzidos, e extrai a quantidade de refugos no período, e com isso, é gerado um percentual. No entanto, neste projeto, foi analisado o comportamento dos refugos de forma nominal, para que se possa compreender as causas potenciais e que levem até as causas raízes.

1.3. JUSTIFICATIVA

De acordo com Passarella (2007), a Manufatura de Classe Mundial, mais comumente conhecida como WCM (*World Class Manufacturing*), segue técnicas baseadas nos princípios da produção enxuta formando um conjunto de conceitos, princípios e políticas que são utilizadas no gerenciamento de processos operacionais de uma empresa. Yamashina (2000), acrescenta dizendo que o WCM é um sistema em que se pretende analisar os problemas e suas perdas relacionadas, para assim, determinar um método para reduzir tais perdas e controlar os resultados.

Segundo Schonberger (1986), as empresas que utilizam os princípios do W.C.M. como base de sua manufatura, tendem a ter um aumento de competitividade e de desempenho e assim conquistam maiores fatias de mercado.

Desta forma adequar os indicadores de perdas do setor de injeção de componentes da linha de aquecimento a um W.C.M. (*World Class Manufacturing*) através da aplicação metodologia do *Lean Six Sigma* na redução de refugos é a uma alternativa na adequação do processo produtivo as demandas do mercado.

1.4. HIPÓTESE

Fazendo uso dos dados disponibilizados pela empresa é possível realizar uma tabulação e estratificação para uma melhor compreensão das informações e, desta forma, aplicar as técnicas e ferramentas mais adequadas para o entendimento do problema. Para garantir a confiabilidade dos dados é necessário realizar um teste de normalidade, neste caso se trata de variáveis quantitativas discretas, proveniente de contagem direta. Fatores associados a programação da produção assim como o controle do processo podem estar associados aos índices de refugos do setor de injeção.

1.5. OBJETIVO

O objetivo do projeto é reduzir em 50% os valores de refugo da família de componentes 3001 o que, com base em dados históricos dos últimos 12 meses, representam 75.000 componentes, sendo o ganho financeiro de aproximadamente R\$20.971,00.

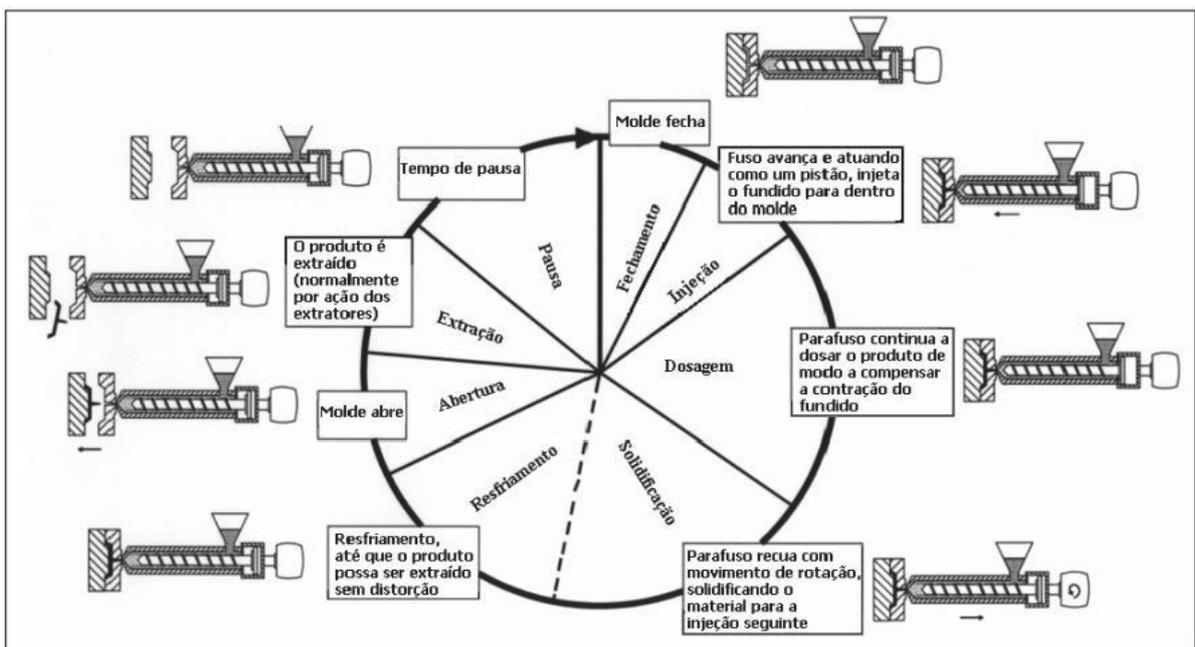
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor compreender a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* através de diferentes ferramentas da qualidade, neste capítulo foram abordados aspectos teóricos dos principais tópicos que envolvem um processo de injeção de polímeros, assim como uma descrição do processo de injeção da empresa onde a metodologia foi aplicada, descrevendo características gerais do processo e os principais tipos de refugos bem como suas possíveis causas.

2.1 PROCESSO DE INJEÇÃO.

O processo de injeção de termoplásticos pode ser caracterizado por um processo cíclico, esquematizado na Figura 1, que combina inúmeras variáveis como pressão, temperatura e tempo. De forma sucinta esse processo obedece a algumas etapas: aquecimento do polímero, moldagem do produto e resfriamento do produto (CUNHA, 2003).

FIGURA 1 – Ciclo do processo de injeção.



FONTE: Cunha (2003).

Santos (2015) definiu de forma simplificada o processo de injeção como um ciclo composto por seis fases principais: fechamento do molde, preenchimento das cavidades, recalque, resfriamento, abertura do molde e extração do produto.

Na moldagem por injeção, grânulos do polímero são comprimidos por um pistão ou rosca, e aquecidos até serem moldados e injetados dentro do molde e fechado sob

pressão. O polímero é esfriado abaixo da temperatura de transição vítrea (TG), o molde é aberto e o produto é extraído. As moléculas do polímero são orientadas paralelas à direção do fluxo durante a injeção, fornecendo um reforço útil, porém ocorre anisotropia nas propriedades mecânicas. O processo fornece moldagens com alta precisão, pois o polímero esfria ainda sob pressão e devagar. As temperaturas típicas de moldagem por injeção de termoplásticos estão entre 150 - 350°C e as pressões são acima de 120 MPa (ASHBY; JONES,1988).

Este processo inicia com o fecho e trancamento do molde, que deve ser tão rápido quanto o possível. Em seguida ocorre a injeção, após o cilindro ter encostado o bico ao molde, o parafuso é empurrado, obrigando o fundido a fluir para dentro do molde. A velocidade de injeção deve ter um compromisso entre a rapidez e a qualidade do produto. A terceira etapa é a pressurização, ocorre a seguir ao enchimento do molde, sendo necessário continuar a pressurizar a impressão, a fim de reduzir o efeito da contração por arrefecimento e evitar o refluxo do fundido. CUNHA, (2003).

Após a pressurização, realiza-se o arrefecimento onde o parafuso pode ser retraído e a moldação continua a arrefecer o molde. A fase de arrefecimento termina quando a moldação atinge uma temperatura que permite a sua extração sem deformação. A temperatura do molde é um parâmetro muito importante no processo de injeção, uma vez que condiciona o processo de arrefecimento. Uma temperatura muito elevada origina um aumento do tempo de ciclo, no entanto uma temperatura mais baixa pode provocar o arrefecimento prematuro do material durante o enchimento.

A abertura e injeção baseia-se no tempo entre a peça estar pronta a ser removida e o início do novo ciclo. Por fim, existe uma pausa entre o fim da ejeção e o início do novo ciclo. CUNHA, (2003).

2.2 PROCESSO DE INJEÇÃO DA EMPRESA

O setor responsável pela injeção de componentes termoplásticos da linha de aquecimento é composto por 13 injetoras, distribuídas de forma linear no mesmo espaço físico, conforme pode-se observar na figura 2.

FIGURA 2. Linha de injeção de termoplásticos.



FONTE: os autores (2023).

O setor trabalha em dois turnos com 26 funcionários, sendo que, o primeiro turno é composto por 14 colaboradores e o segundo turno composto por 12 colaboradores.

O processo tem início no estoque de matérias-primas que são compostas de polipropileno (PP), poliamida (PA) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS), algumas formulações são carregadas com cargas como talco ou fibra de vidro em proporções entre 10 e 20%, além destas matérias-primas principais o estoque também é composto por antichamas, anti-UV e pigmentos de diversas cores.

O controle da entrada e saída das matérias-primas e da pesagem dos componentes das formulações é realizado por um colaborador dedicado integralmente ao processo para minimizar a possibilidade de erros, o mesmo recebe a informação de quais matérias-primas fazem parte da formulação e as quantidades a serem pesadas e misturadas que seguem, então, para a injetora programada através de contenedores apropriados.

Para as matérias-primas utilizadas não é realizado nenhum ensaio físico-químico na empresa, sendo o controle feito através de uma certificação entregue pelos fornecedores. É importante salientar que entre as matérias-primas *comodities* (PP, PA e ABS) existe uma baixa possibilidade de material não conforme pela elevada tecnologia utilizadas por grandes empresas petroquímicas, porém, entre os fornecedores dos aditivos (antichamas, anti-UV e pigmentos), por se tratarem de empresas menores e com menores recursos tecnológicos, a possibilidade de materiais não conformes é maior sendo interessante avaliar a possibilidade de implantar um controle do índice de fluidez (IM) no laboratório da própria empresa.

As injetoras possuem diferentes capacidades de injeção, sendo somente uma delas dedicada a um único tipo de produto que utiliza materiais reciclados do próprio processo de injeção, as demais são utilizadas conforme ocorre a demanda do setor de controle de produção, que através de um sistema de controle informatizado emite as ordens de produção (O.P.) podendo ser impressas no próprio setor de injeção. Na figura 3 pode-se observar uma O.P. impressa na linha de injeção.

Figura 3. Controle de produção da linha de injeção.



FONTE: os autores (2023).

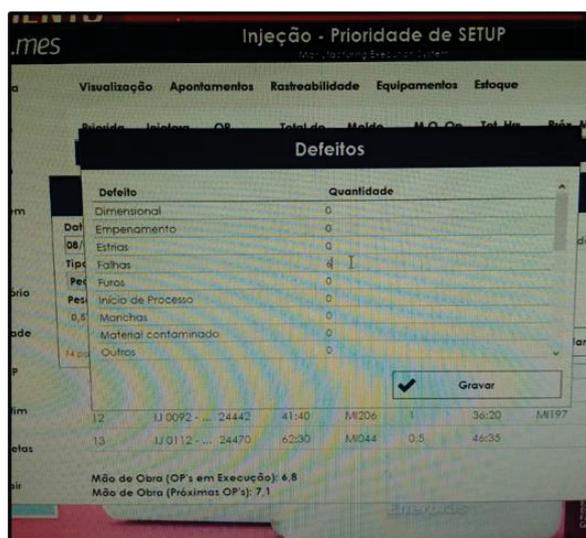
2.2.1. Controle, tipos e causas das não conformidades.

Durante o processo da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, foram realizadas visitas técnicas, sendo um dos objetivos a verificação do controle das não conformidades constatando se ele é feito de maneira sistemática e controlada.

A análise de indicadores é fundamental para avaliar a estabilidade do processo de injeção. Entre os indicadores já criados está uma série histórica de dados estruturados mês a mês de não conformidades que seguem: empenamento, estrias, falhas, furos, início do processo, manchas, material contaminado, peças com óleo, pintas, queimadas, quebradas, queimadas, rebarbas, rechupes, reinício do processo, riscos, sucata, tonalidade, trincas, trocas de cor, try-out-injeção e outros.

No período da visita foi possível avaliar a forma como os dados são coletados e alimentados em um sistema utilizado pela empresa conforme podemos observar na figura 4.

Figura 4. Processo de alimentação dos dados de defeitos da linha de injeção.



FONTE: os autores (2023).

Entre os defeitos gerados no processo durante a visita observou-se os seguintes:

a) peças fora da tonalidade: a cor de peças injetadas se dá pela adição de pigmentos em valores que variam de acordo com o tipo de polímero a ser injetado e a cor do pigmento utilizado, diferentes cores agem de forma diversa na reologia do polímero podendo alterar as condições de processamento, é interessante avaliar quais cores possuem mais frequentemente este tipo de defeito, entre as causas desta diferença pode estar um fluxo irregular a partir do funil de alimentação, proporcionando diferentes concentrações de pigmentos na peças injetadas. Para melhorar o controle é possível desenvolver uma escala de tonalidade comparativa para que o operador consiga avaliar a aprovação ou não da peça.

Na figura 5 pode-se observar uma peça injetada na cor amarelo apresentando diferentes tonalidades.

Figura 5. Peças injetadas com diferentes tonalidades.



FONTE: os autores (2023).

b) Rebarba: um dos defeitos mais comuns encontrados nos processos de injeção plástica. A rebarba trata-se de um excesso de material normalmente nas extremidades da peça, é visualmente perceptível e dependendo do tamanho da rebarba pode levar ao descarte da peça. Ela é ocasionada pelos seguintes fatores, força de fechamento do molde abaixo do necessário, molde deficiente ou até a matéria prima com mistura inadequada.

Para avaliar quais destes fatores podem ser responsáveis pelas rebarbas poderia ser realizada uma análise histórica dos parâmetros de processamento, principalmente a força de fechamento do molde e a avaliação se este tipo de defeito é mais frequente em algum tipo de peça específica para que se possa avaliar uma possível manutenção do equipamento.

Na figura 6 pode-se observar uma peça com uma rebarba que pode impossibilitar ou dificultar a montagem em outros componentes.

Figura 6. Peça injetada com rebarbas.



FONTE: os autores (2023).

c) Falhas: a injeção de peças moldadas de forma incompleta é um dos defeitos mais frequentes observadas ao final do processo de injeção pelo operador. Isso pode acontecer por conta de alguns fatores relacionados ao molde e, também, à matéria prima. As suas possíveis causas são: processamento inadequado da máquina, queda de pressão, ar aprisionado no molde. Na figura 7 pode-se observar uma moldagem incompleta.

Figura 7. Comparação entre uma peça completa (esquerda) e uma peça com falha (direita).



FONTE: os autores (2023).

- d) Peças queimadas: o aparecimento de pontos pretos na superfície das peças compromete as características estéticas dos produtos injetados, que podem ser causados pela carbonização do carbono, presente nas cadeias principais dos polímeros ou pela troca de peças injetadas com resíduos de polímeros injetados anteriormente na linha. Na figura 8 pode-se observar pontos queimados na superfície de uma peça de aparência.

Figura 8. Peça com pontos de queima.



FONTE: os autores (2023).

As peças com defeitos são armazenadas em caixas apropriadas com a identificação de uma faixa vermelha, como pode-se observar na figura 9.

Figura 9. Contenedor com peças injetadas defeituosas.



FONTE: os autores (2023).

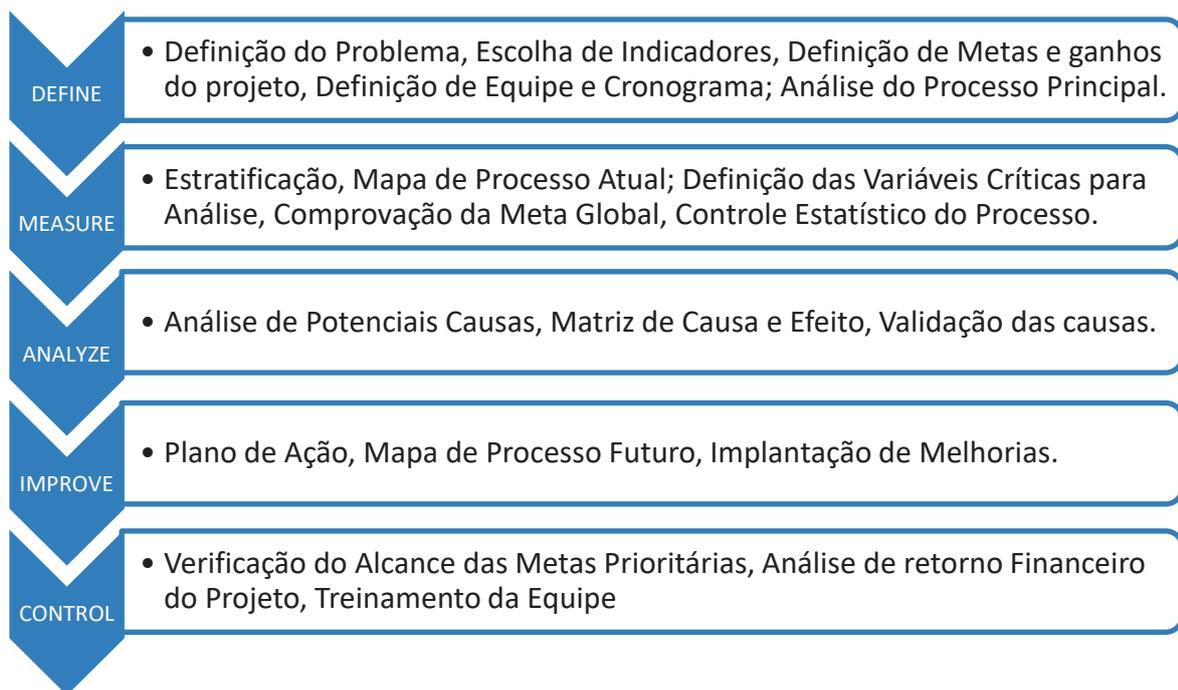
Foi possível verificar a existência de um sistema de coleta de dados de peças injetadas defeituosas feita de maneira sistemática e organizada, com uma base de dados capaz de fornecer informações importantes para análise de melhorias através das ferramentas da qualidade que devem ser aplicadas nas diversas etapas de implementação da metodologia *Lean Six Sigma*.

3. METODOLOGIA.

A metodologia Seis Sigma surgiu em 1987, criada por Bill Smith, engenheiro da Motorola na época. Ela tem como intuito reduzir as variabilidades do processo industrial conduzindo ao patamar de quase zero defeitos. A aplicação dessa metodologia trouxe para a Motorola grandes ganhos frente a seus concorrentes, pois propiciou que a empresa comercializasse produtos com melhor qualidade a preços mais baixos. Com isso, a aplicação da metodologia foi difundida para outras empresas, tendo destaque também em outras corporações como General Eletric e Sony (WERKEMA, 2012).

A implementação do Seis Sigma consiste em seguir os passos do método DMAIC, acrônimo inglês para *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*. Em cada uma dessas etapas são realizadas ações para que de modo bem estruturado seja alcançado o objetivo proposto do projeto (WERKEMA, 2012).

FIGURA 10. Etapas do projeto Seis Sigma (DMAIC).



FONTE: os autores (2023).

3.1 FASE DEFINIR (*Define*).

Como já foi descrito em itens anteriores, a empresa objeto de estudo é uma indústria do ramo de componentes elétricos situada na região metropolitana de Curitiba. No dia 25 de agosto de 2022 foi realizada a primeira visita de homologação do processo de certificação *Black Belt*. Participaram da visita o orientador do projeto Prof. Dr. Walter Nikkel

e os alunos Francisco Vicentin e Guilherme Gralik, estes foram recebidos pelo gerente de produção que fez um breve relato do portfólio de produtos da empresa, características do mercado onde atua e os principais processos de fabricação utilizados, assim como a evolução do controle da qualidade de produtos e processos que a empresa vem passando ultimamente.

Após este breve relato foi realizada uma visita no as linhas de produção (*Gemba*) onde ocorre a fabricação e montagem dos produtos, foi observado um processo altamente automatizado com controles dos parâmetros de processos/produção e qualidade conectados à internet com controle de informações em tempo real.

No final da visita foi realizada uma reunião com o gerente e a analista de qualidade para determinar o processo em que a metodologia deveria ser aplicada. Chegou-se ao consenso que a melhor opção seria o setor de injeção de termoplásticos, pelo histórico de problemas apresentados e a importância dentro do processo produtivo. Também, se definiu a pessoa facilitadora por parte da organização.

Desta forma os responsáveis pela implementação ficaram da seguinte forma:

- *Sponsor*: Gerente da produção;
- *Champion*: Gerente da qualidade e a Analista da qualidade;
- Equipe: Francisco Sérgio Vicentin - levantamento de dados; Guilherme Gralik - identificação das causas e levantamento das soluções; Mateus Rigo Franco e Fernando Diego Trujillo - apoio nas análises estatísticas; Moisés Godoy dos Santos – análise de indicadores e mensuração;
- Orientador: Prof. Dr. Walter Nikkel;

O período de realização de cada etapa seguiu as orientações da coordenação do curso e do orientador.

3.1.1 Definição do problema.

Fazendo uso dos dados disponibilizados pela gerência da empresa foi realizado uma tabulação e estratificação dos dados para uma melhor compreensão das informações, para com isso aplicar as técnicas e ferramentas mais adequadas para o entendimento do problema.

A tabela 1 apresenta a quantidade de peças produzidas mensalmente por um período de 12 meses, a partir destes dados, calculou-se a soma das peças produzidas no período, foi também determinada a média e o desvio-padrão, e obteve-se o coeficiente de variação da amostra, esse último valor demonstra que a média não é uma tendência de

medida central mais adequada.

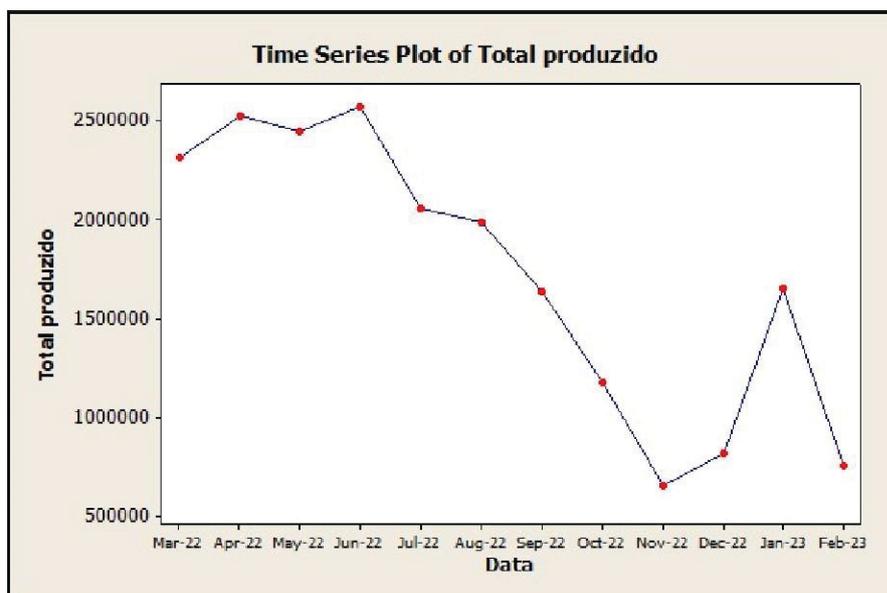
TABELA 1. Produção mensal do setor de injeção.

Data	Total produzido
Mar./22	2.316.521
Abr./22	2.526.768
Mai./22	2.446.005
Jun./22	2.571.773
Jul./22	2.054.935
Ago./22	1.986.874
Set./22	1.633.502
Out./22	1.177.203
Nov./22	653.063
Dez./22	820.473
Jan./23	1.652.653
Fev./23	757.279
Soma período	20.597.049
Média	1.716.421
Mediana	1.819.764
Desvio Padrão	71.500.433
Coeficiente de Variação	0,4167

FONTE: os autores (2023).

Para melhor compreender o comportamento histórico da produção global dos componentes foi desenvolvido um gráfico de séries temporais (Sequencial) com o auxílio do software MINITAB, como mostra a figura 11.

FIGURA 11. Série temporal.



FONTE: os autores (2023).

Pela observação do gráfico de séries temporais é possível evidenciar que o comportamento da linha demonstra uma forte tendência de queda da produção, e os últimos três meses, percebe-se que existe uma possível instabilidade. Para um melhor compreender os valores foi calculada média total da amostra, a média dos seis primeiros meses, e a média dos últimos seis meses, conforme tabela 2, abaixo:

TABELA 2. Médias da produção.

	Quantidade produzida
Média geral	1.716.421
Média 6 primeiros meses	2.317.146
Média 6 últimos meses	1.115.696

FONTE: os autores (2023).

O comportamento dos dados mostra que devido a esta característica instável a média global tende a ser impactada, e, conseqüentemente, introduz um desvio-padrão maior, o que pode ser o efeito causador do índice elevado do coeficiente de variação. A diferença entre a média dos últimos seis meses e dos seis primeiros meses, reflete que há uma instabilidade na produção.

Para garantir a confiabilidade dos dados, foi necessário realizar um teste de normalidade, neste caso, estamos trabalhando com variáveis quantitativas discretas, proveniente de contagem direta. Normalmente, a distribuição estatística de probabilidade para esse tipo de dados é a do tipo de *Poisson*, porém como o valor das médias são elevadas restringindo o seu uso, a distribuição normal é recomendada nesse caso.

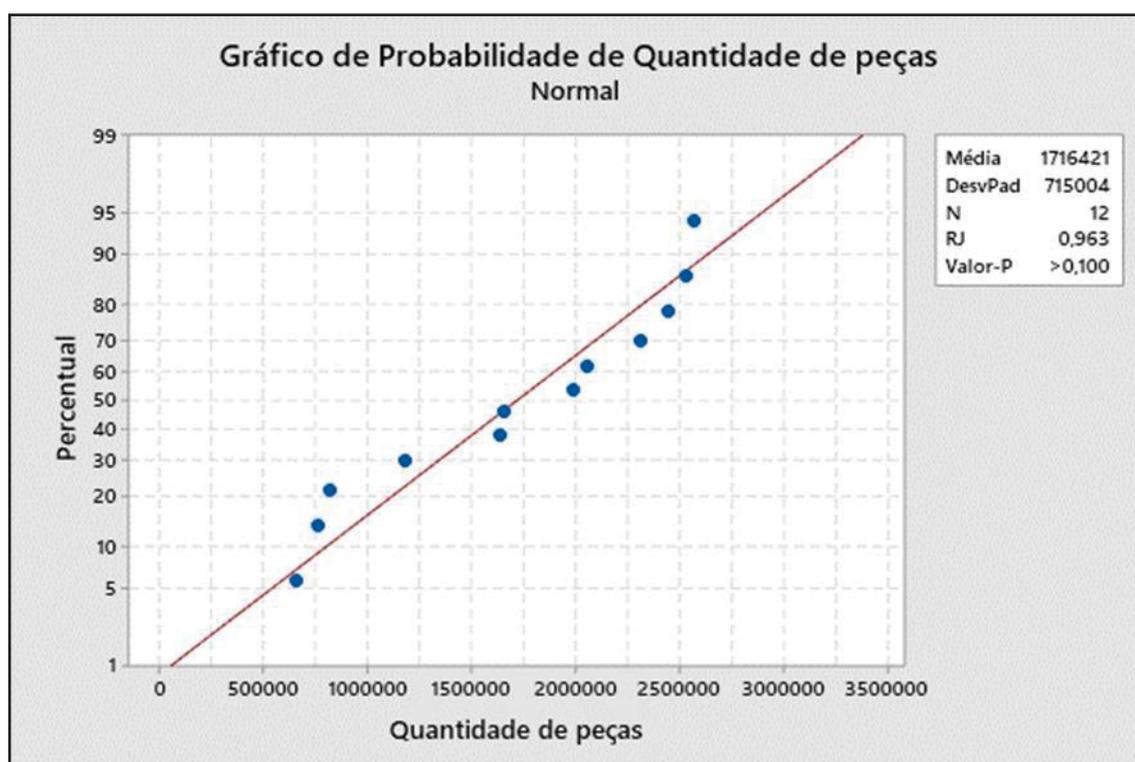
Foram realizados dois testes de normalidade: i) no software Excel, por meio do teste de *Shapiro-Wilk*; (Tabela 3). ii) no software MINITAB, por meio do teste de *Ryan- Joiner* (Figura 12). Para as condições do Teste de Hipóteses temos que: H0: a distribuição é normal para os dados de produção global; H1: a distribuição não é normal para os dados de produção global;

TABELA 3 – Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Amostra ordenada	Ordem	$(x_i - \bar{x})^2$	Metade inferior	Metade superior	i	N-i+1	a(N-i+1)	Diferença	a(N-i+1) * Diferença	b	Estatística	alfa	Valor tabelado
653.063	1	1,13073E+12	653.063	2.571.773	1	12	0,5475	1918710	1050493,725	2250040	0,9002652	0,05	0,859
757.279	2	9,19953E+11	757.279	2.526.768	2	11	0,3325	1769489	588355,0925	2250040	0,9002652		
820.473	3	8,02722E+11	820.473	2.446.005	3	10	0,2347	1625532	381512,3604	2250040			
1.177.203	4	2,90756E+11	1.177.203	2.316.521	4	9	0,1586	1139318	180695,8348	2250040			
1.633.502	5	6875519102	1.633.502	2.054.935	5	8	0,0922	421433	38856,1226	2250040			
1.652.653	6	4066325940	1.652.653	1.986.874	6	7	0,0303	334221	10126,8963	2250040			
1.986.874	7	73144960436											
2.054.935	8	1,14592E+11											
2.316.521	9	3,6012E+11											
2.446.005	10	5,32293E+11											
2.526.768	11	6,56663E+11											
2.571.773	12	7,31627E+11											

FONTE: os autores (2023).

FIGURA 12 – Teste de normalidade de Ryan-Joiner.



FONTE: os autores (2023).

Em ambos os testes, considerou-se um nível de confiança de 95%, e um nível de significância de 5%. No teste de Shapiro-Wilk, o valor da estatística calculada (0,900) é maior do que o valor da estatística tabelado (0,859), o que pode-se concluir que, não há evidências para rejeitar a hipótese nula, e os dados são, pelo menos, aproximadamente, provenientes de uma Distribuição Normal com alfa nível de significância de 0,05.

Quando se observa o gráfico do teste de Ryan-Joiner mantendo as mesmas premissas do teste de Shapiro-Wilk, aceita-se a hipótese nula, de que, os dados se aproximam de uma Distribuição Normal. Os resultados apresentados estão nos valores de “RJ” de 0,963, ou seja, quanto mais próximo de 1, mais fica evidente que se deve aceitar a H_0 ; e pode-se analisar o p-valor, que é maior do que 0,100 e naturalmente, está acima do nível de significância de 0,05, endossando a possibilidade dese aceitar a H_0 .

Para analisar o comportamento dos dados referentes aos refugos gerados, foram mantidas as premissas utilizadas na análise da produção. A tabela 4 mostra os valores totais produzidos mensalmente e o custo dos resíduos gerados para cada período.

TABELA 4. Valores mensais injetados e os custos dos refugos gerados.

Data	Total produzido	Custos
Mar./22	2.316.521	R\$ 6.923,44
Abr./22	2.526.768	R\$ 18.052,05
Mai./22	2.446.005	R\$ 7.761,68
Jun./22	2.571.773	R\$ 8.039,64
Jul./22	2.054.935	R\$ 10.717,12
Ago./22	1.986.874	R\$ 12.175,03
Set./22	1.633.502	R\$ 10.351,89
Out./22	1.177.203	R\$ 13.354,17
Nov./22	653.063	R\$ 8.610,86
Dez./22	820.473	R\$ 9.944,80
Jan./23	1.652.653	R\$ 9.242,08
Fev./23	757.279	R\$ 7.503,70
Soma período	20.597.049	R\$ 122.676,46
Média	1.716.421	R\$ 10.223,04
Mediana	1.819.764	R\$ 9.593,44

FONTE: os autores (2023).

Na tabela 5 são apresentados os dados estratificados, levando em consideração, os refugos gerados no período, o total produzido a cada mês no período de um ano; a variação da produção de um mês para o outro; o total de refugo gerado a cada mês no período de um ano; a variação mensal do refugo; o *Last Time Through* (LTT); os custos financeiros mensais dos refugos; o percentual do financeiro total; e o percentual total por refugo.

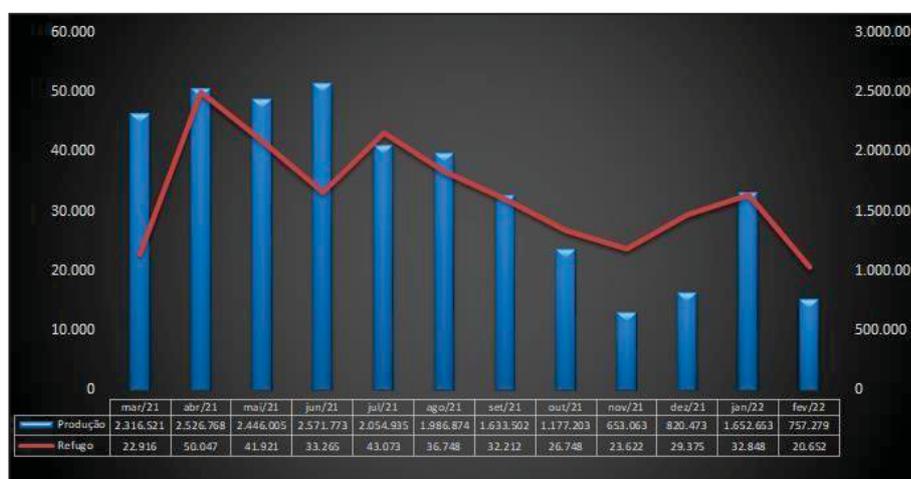
TABELA 5 – Dados associados a produção e geração de refugos.

Data	Quantidade defeitos	Total produzido	Varição da produção	Varição do % refugos	LTT	Custos R\$	%Finac. Total (nominal)	Custo por refugo
Mar./22	22.916	2.316.521	-	-	0,99%	6.923,44	5,64%	R\$ 0,30
Abr./22	50.047	2.526.768	9,08%	118,4%	1,98%	18.052,05	14,72%	R\$ 0,36
Mai./22	41.921	2.446.005	-3,20%	-16,2%	1,71%	7.761,68	6,33%	R\$ 0,19
Jun./22	33.265	2.571.773	5,14%	-20,6%	1,29%	8.039,64	6,55%	R\$ 0,24
Jul./22	43.073	2.054.935	-20,10%	29,5%	2,10%	10.717,12	8,74%	R\$ 0,25
Ago./22	36.748	1.986.874	-3,31%	-14,7%	1,85%	12.175,03	9,92%	R\$ 0,33
Set./22	32.212	1.633.502	-17,79%	-12,3%	1,97%	10.351,89	8,44%	R\$ 0,32
Out./22	26.748	1.177.203	-27,93%	-17,0%	2,27%	13.354,17	10,89%	R\$ 0,50
Nov./22	23.622	653.063	-44,52%	-11,7%	3,62%	8.610,86	7,02%	R\$ 0,36
Dez./22	29.375	820.473	25,63%	24,4%	3,58%	9.944,80	8,11%	R\$ 0,34
Jan./23	32.848	1.652.653	101,43%	11,8%	1,99%	9.242,08	7,53%	R\$ 0,28
Fev./23	20.652	757.279	-54,18%	-37,1%	2,73%	7.503,70	6,12%	R\$ 0,36

FONTE: os autores (2023).

Analisando o indicador LTT, é possível verificar que a proporcionalidade entre a quantidade de refugos gerados pelo total de componentes produzidos é maior quando há uma menor produção, como é refletido nos meses de: novembro/2022 (LTT de 3,62%) para uma produção de 653.063; dezembro/2022 (LTT de 3,58%) com a produção de 820.473; fevereiro/2023 (LTT de 2,73%) para a produção de 757.279. Avaliando estes dados é relevante avaliar o quando houve uma diminuição da produção total dos componentes, houve um aumento percentual dos refugos. A figura 13 ilustra o comportamento histórico comparativo entre o total produzido e o total de refugos gerados.

FIGURA 13 - Comportamento histórico entre o total produzido e o total de refugos gerados.



FONTE: os autores (2023).

Aparentemente a queda de geração de refugos acompanha a queda da produção, porém não com a mesma intensidade, por isso é necessário realizar o teste de normalidade dos dados para a geração de refugos.

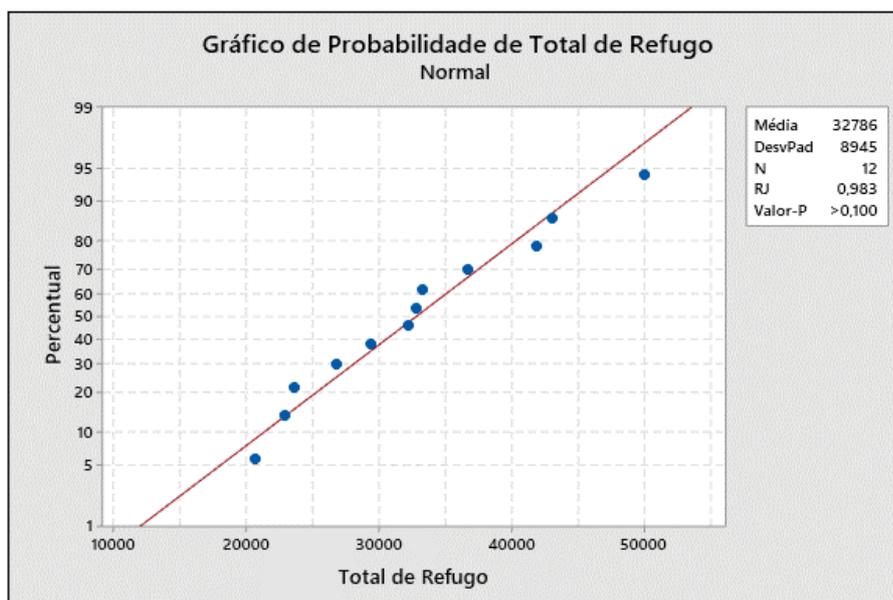
A seguir, serão apresentados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (Tabela 6); e o teste de normalidade de Ryan-Joiner (Figura 14). Para as condições de testes de hipóteses tem-se que: H0: a distribuição é normal para os dados de Refugos gerados; H1: a distribuição não é normal para os dados de refugos gerados.

TABELA 6. Testes de normalidade de Shapiro-Wilk para os refugos.

Amostra ordenada	Ordem	(xi - xmedio)^2	Metade inferior	Metade superior	i	N-i +1	a(N-i+a)	Diferença	a(N-i+a) * Diferença	b	Estatistica	alfa	Valor tabelado
20.652	1	147039876	20.652	50.047	1	12	0,5475	29395	16093,7625	29057,43	0,95913586	0,05	0,859
22.916	2	97259044	22.916	43.073	2	11	0,3325	20157	6702,2025	29057,43	0,95913586		
23.622	3	83832336	23.622	41.921	3	10	0,2347	18299	4294,7753	29057,43			
26.748	4	36360900	26.748	36.748	4	9	0,1586	10000	1586	29057,43			
29.375	5	11580409	29.375	33.265	5	8	0,0922	3890	358,658	29057,43			
32.121	6	431649	32.121	32.848	6	7	0,0303	727	22,0281	29057,43			
32.848	7	4900											
33.265	8	237169											
36.748	9	15760900											
41.921	10	83594449											
43.073	11	105987025											
50.047	12	298218361											

FONTE: os autores (2023).

FIGURA 14 - Teste de normalidade de Ryan-Joiner para os refugos.



FONTE: os autores (2023).

Em ambos os testes, considerou-se um nível de confiança de 95%, e um nível de significância de 5%. No teste de Shapiro-Wilk, o valor da estatística calculada (0,959) é maior do que o valor da estatística tabelado (0,859), concluindo assim que não se tem evidências para rejeitar a hipótese nula, e os dados são, pelo menos, aproximadamente, provenientes de uma Distribuição Normal com alfa nível de significância de 0,05.

Quando observamos o gráfico do teste de Ryan-Joiner mantendo-se as premissas do teste de Shapiro-Wilk, pode-se aceitar a hipótese nula, de que, os dados se aproximam de uma Distribuição Normal. Os resultados apresentados estão nos valores de "RJ" de 0,983, ou seja, quanto mais próximo de 1, mais fica evidente que se deve aceitar a H0; e ao analisar o p-valor, que é mais do que 0,100 e naturalmente, está acima do nível de significância de 0,05, endossando a possibilidade de se aceitar a H0. Para esse conjunto de dados, há uma maior incidência de valores que estão próximos da curva normal (reta vermelha), ou seja, há uma melhor distribuição desses dados.

A partir do teste de normalidade, passa-se a ter relevância a compreensão dos atributos que mais afetam a quantidade de refugos gerados, e a incidência dos custos financeiros para a empresa. Na tabela 7 é apresentada a estratificação dos dados referentes aos tipos de refugos gerados utilizados para geração do gráfico de Pareto (Figura 15).

Foi possível elencar 22 causas de problemas que geram os refugos no processo produtivo, foi possível quantificar a quantidade de refugos gerados por atributos e o custo financeiro total para cada característica, e o número de vezes que cada causa foi constatada no processo produtivo, no período de 12 meses.

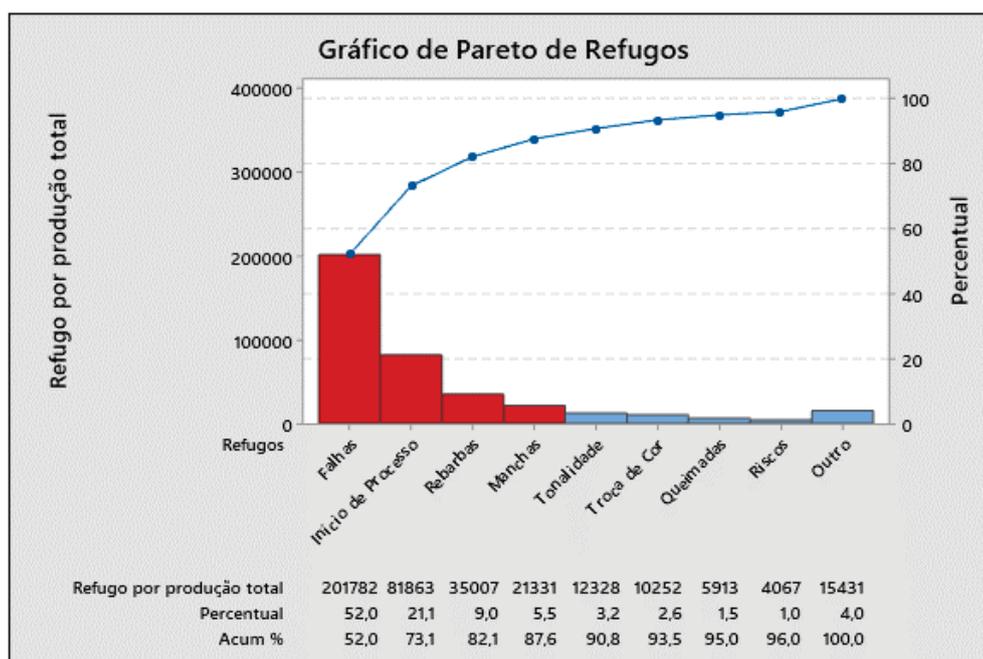
TABELA 7. Estratificação dos dados referentes aos tipos de refugos gerados.

Dados do Pareto - Soma dos Refugos no período/ano				
Números	Refugos	Refugo por produção total	Custo Financeiro total	Contagem
1	Falhas	201.782	R\$ 52.558,84	12
2	Início de Processo	81.863	R\$ 30.107,24	12
3	Manchas	21.331	R\$ 16.850,22	12
4	Rebarbas	35.007	R\$ 5.269,95	12
5	Queimadas	5.913	R\$ 786,40	9
6	Troca de Cor	10.252	R\$ 3.317,59	12
7	Estrias	4.000	R\$ 2.491,93	12
8	Tonalidade	12.328	R\$ 3.636,53	12
9	Reinício Processo	4.122	R\$ 2.087,46	12
10	Trincas	1.220	R\$ 759,60	8
11	Riscos	4.067	R\$ 1.671,29	11
12	Pintas	48	R\$ 10,53	3
13	Peças com Óleo	1.331	R\$ 598,31	10
14	Quebradas	2.572	R\$ 279,02	11
15	Furos	3.020	R\$ 157,13	10
16	Rechupe	2.242	R\$ 1.252,69	9
17	Empenamento	736	R\$ 104,73	3
18	Sucata	223	R\$ 45,68	3
19	Material Contaminado	200	R\$ 0,00	1
20	Try-out Injeção	149	R\$ 0,00	1
21	Dimensional	15	R\$ 16,33	1
22	Outros	1.006	R\$ 674,99	8

FONTE: os autores (2023).

Foi necessário desenvolver dois gráficos de Pareto sendo o primeiro (Figura 15) a relação da quantidade dos refugos gerados por atributos na produção total ao longo do período; e o segundo a relação da quantidade dos refugos gerados por atributos financeiros (Figura 16).

FIGURA 15 - Quantidade dos refugos gerados por atributos na produção total.

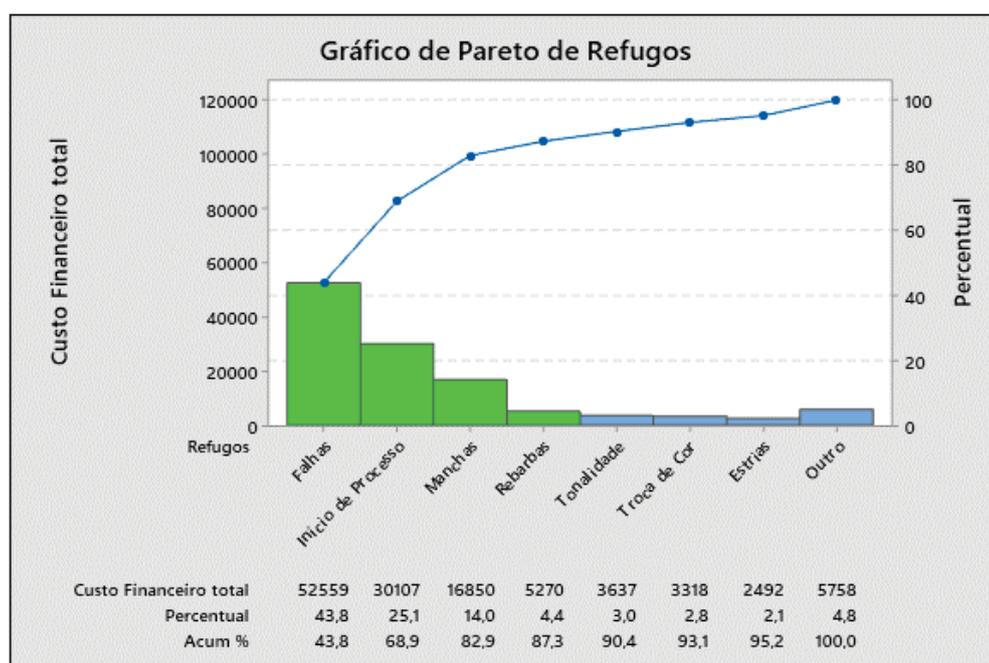


FONTE: os autores (2023).

Conforme pode-se observar na figura 15 entre os 22 atributos que causam os refugos no processo produtivo, apenas quatro, correspondem à 87,6% das causas da produção total. A maior incidência é de “Falhas”, que representa 52% do total; o segundo é o “Início de Processo”, que equivale à 21,1% do todo; e na sequência, a “Rebarba” e as “Manchas”, que contribuem em 9,0% e 5,5%, respectivamente. Para este projeto a redução de refugos se dará nessas quatro causas de incidência de não conformidades.

A figura 16 ilustra o gráfico de Pareto relacionando o custo financeiro total por atributos que geram os refugos, é importante salientar que para a melhor tomada de decisão, a escolha das causas que geram refugos no processo produtivo está correlacionada com um maior impacto financeiro para a empresa.

FIGURA 16 - Relação da quantidade dos refugos gerados por atributos financeiros.



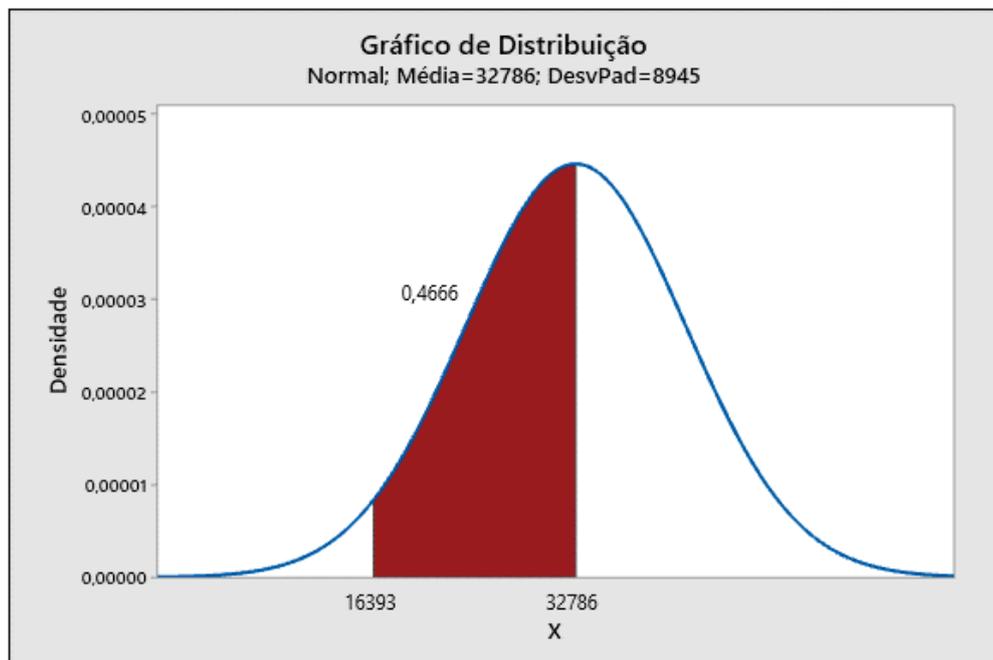
FONTE: os autores (2023).

Como demonstra a figura 16 são mantidos os atributos que são as maiores causas dos refugos na produção. As quatro características representam 87,3% do total do impacto financeiro. As “Falhas” são 43,8% do total; o “Início de Processo” corresponde à 25,1% dos custos. Contudo, é importante avaliar, que há uma maior incidência da geração de refugos por “Rebarbas” em relação à “Manchas”, mas que esse exerce uma menor influência nos custos, pois ela representa 14% dos passivos na produção, enquanto a “Rebarba” contribui com 4,4%.

Para o desenvolvimento pleno da compreensão do processo produtivo, é relevante apresentar um gráfico de Probabilidade de Ocorrência (Figura 17).

Foi considerado a média da quantidade de refugos gerados no período, para se utilizar como referência, e a partir daí, foi estipulado um valor 50% menor. Pretende-se inferir qual é a probabilidade que a quantidade de refugos fique entre 16.593 (50% da média) e 32.783, sendo o determinado o valor de 46,66%, ou seja, aproximadamente 47% a probabilidade de ocorrência que a geração de refugos fique entre os valores correspondidos. Isto passa a ser um desafio, uma vez que as chances são menores que 50% de reduzir os refugos no processo produtivo, e conseqüentemente, diminuir a média final.

FIGURA 17 - Probabilidade de Ocorrência de refugo.

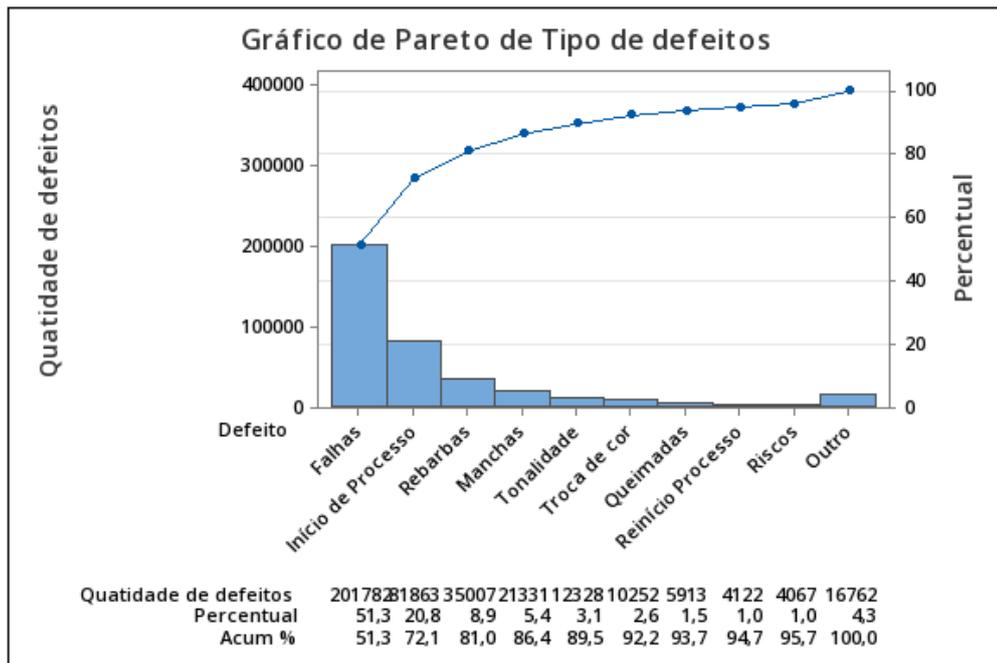


FONTE: os autores (2023).

A partir da análise quantitativa do processo produtivo, cujo foco é na redução dos refugos por meio dos quatro atributos de maior impacto financeiro e incidência, é necessário desenvolver as análises qualitativas por meio de ferramentas específicas.

Para uma melhor definição de meta, uma nova estratificação é necessária. Do montante de refugos apresentado, 393.000, foram selecionados somente os tipos de refugos que eram referentes à linha de aquecimento conforme apresentado na figura 18.

FIGURA 18 – Tipos de refugos referentes a linha de aquecimento.



FONTE: os autores (2023).

Deste montante foram separados os itens das famílias de produto que mais contribuíam para os três principais defeitos apresentados (falhas, início de processo, rebarbas) e, verificou-se que 5 componentes específicos pertencem à família de componentes 3001 (linha de aquecimento) com uma contribuição de 48%, conforme pode ser observado na tabela 8.

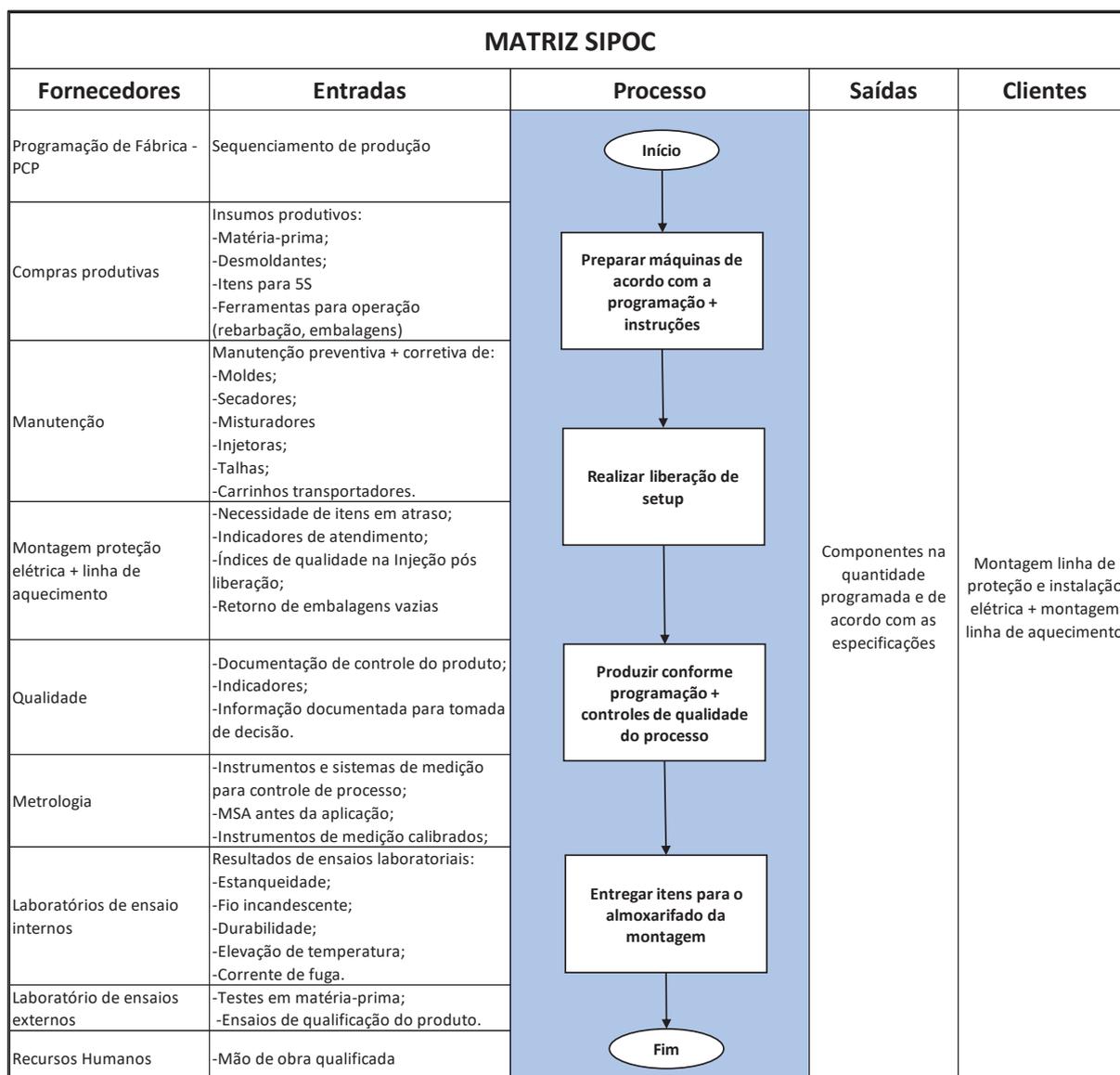
TABELA 8 – Estratificação de refugos por família de produtos.

Tipo de defeito	Total Geral	Total família 3001	Família 3001 -% por categoria/ total
Falhas	201.782,0	107.558	53%
Início de Processo	81.863,0	21.989	27%
Rebarbas	35.007,0	22.444	64%
Total	318.652,0	151.991	48%

Fonte: Autores (2023).

Compreendendo as maiores ocorrências dos defeitos no total dos refugos gerados por total produzido na família 3001, consegue-se, portanto, fazer a descrição da meta e dos ganhos do projeto, porém é relevante compreender o Mapa de Processo, através de um SIPOC (Figura 19), que é uma ferramenta de mapeamento de processos que identifica etapas-chave, entradas, saídas e stakeholders para melhorar a eficiência e qualidade.

FIGURA 19 – Matriz SIPOC.



Fonte: Autores (2023)

Ao observar a matriz SIPOC, compreende-se que o processo produtivo está interligado entre 9 departamentos da indústria, portanto o processo produtivo não é trivial, ou seja, os arranjos de *input* e *output* precisam ser bem planejados e programados.

Para a estipulação da meta do projeto é necessário quantificar o volume dos refugos em relação à produção total, de acordo com os atributos escolhidos por intermédio do gráfico de Pareto.

A tabela 9 apresenta a proposta da meta do projeto a partir dos dados estratificados e do Pareto. Portanto, os estudos se concentrarão nos defeitos “Falhas”, “Início de Processo” e “Rebarbas” como maior incidência dos problemas de refugos.

TABELA 9 – Metas do Projeto.

Tipo de defeito	Total Geral	Total família 3001	Família 3001 - % por categoria/ total	Valor Financeiro total	Valor financeiro Família 3001	Ganhos Financeiros	Ganho total refugos
Falhas	201.782,0	107.558	53%	R\$ 52.558,84	R\$ 28.016,00	R\$ 14.008,00	53.779
Início de Processo	81.863,0	21.989	27%	R\$ 30.107,24	R\$ 8.087,02	R\$ 4.043,51	10.995
Rebarbas	35.007,0	22.444	64%	R\$ 5.269,95	R\$ 3.378,72	R\$ 1.689,36	11.222
Total	318.652,0	151.991	48%	R\$ 87.936,03	R\$ 41.943,83	R\$ 20.971,91	75.996

Fonte: Autores (2023)

Com isso, define-se a meta direta em com a redução em 50% dos defeitos: Falhas, Início de Processo e Rebarbas em componentes da família 3001 o que perfaz uma redução de 75.996 peças refugadas, reduzindo o custo de refugos em R\$20.971,00.

Quando se observa o impacto financeiro, os custos totais dos refugos gerados são de R\$ 122.676,46. Os três atributos escolhidos para a família 3001 representam 22% do percentual de refugos, estima-se um ganho de R\$20.971,00 o que perfaz 17% do valor financeiro total

E, como ganhos indiretos, se tem:

- a- Aplicação da metodologia Lean na empresa e conseqüente mudança cultural;
- b- Replicação do trabalho para outras linhas de produção;
- c- Gestão de rotina baseada em dados e informações;
- d- Tomada de decisão mais assertiva;
- e- Entendimento melhorado do fenômeno e das causas possibilitando a melhoria do processo;
- f- Aumento do índice de satisfação do cliente;
- g- Redução do WIP (*work in progress*);
- h- Diminuição do desgaste interno entre as áreas;
- i- Redução de Setup;
- j- Melhoria da programação de produção;
- k- Aumento da capacidade analítica da equipe e da empresa hospedeira;
- l- Aprendizado contínuo por meio do trabalho, análise e orientação, entre outros.

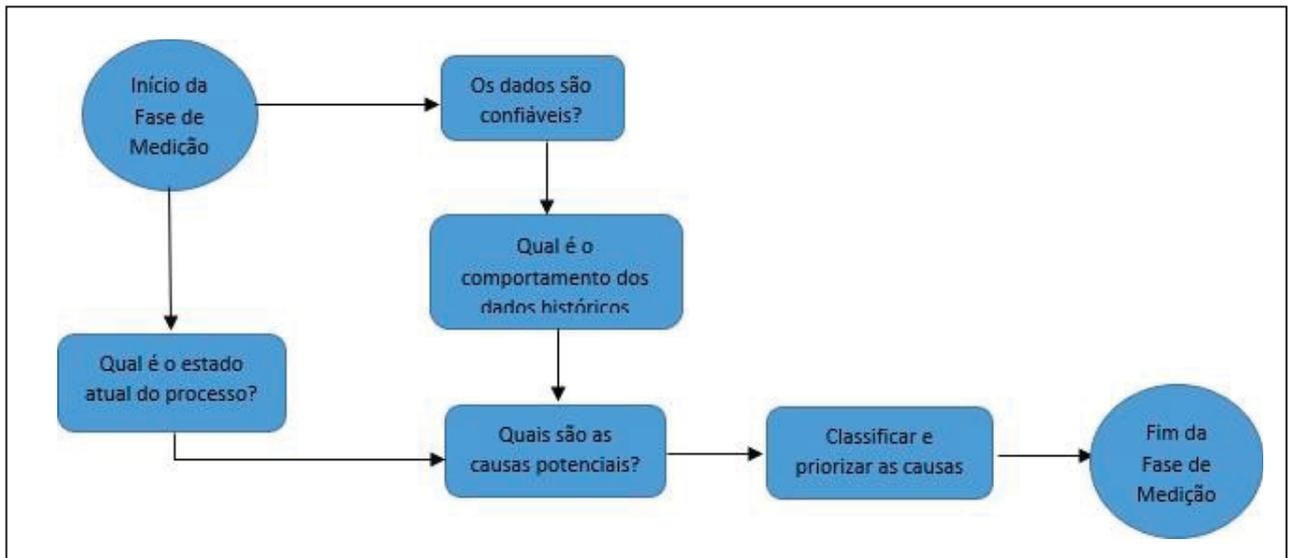
3.1.2 Apresentação etapa de projeto *Define*.

A primeira etapa de projeto foi aprovada junto à empresa, o projeto consiste na redução em 50% dos refugos gerados por falhas, rebarbas e início de processo, para os componentes da família 3001 (componentes internos da linha de aquecimento), o que perfaz a quantidade de 75.900 unidades, essa redução trará um ganho financeiro de R\$20.971,91.

3.2 FASE MEDIR (Measure).

O objetivo da fase de medição é analisar o processo e o fenômeno, identificar falhas e parâmetros críticos da etapa produtiva, analisar qualitativamente e em maior profundidade os dados históricos do problema, para que se consiga levantar e mapear as causas potenciais do problema. Nesta etapa, algumas etapas devem ser observadas e podem ser observadas na figura 20.

Figura 20 – Etapas da fase de medição.



Fonte: Autores (2023).

3.2.1 Controle Estatístico do Processo por meio das Cartas de Controle.

Nesta fase, é imprescindível realizar a medição do Controle Estatístico do Processo por meio das Cartas de Controle. Essas são um conjunto de pontos ordenados, no tempo, que são interpretados em função de linhas horizontais, chamadas LSC (limite superior de controle) e LIC (limite inferior de controle).

As Cartas de Controle são elaboradas para dados com Distribuição Normal ou aproximadamente normal. São ferramentas para o monitoramento da variabilidade e avaliação da estabilidade do processo. Por meio dessas Cartas, podemos distinguir a atuação de causas comuns e causas especiais no processo. Quando o processo está sujeito apenas às causas comuns, esta é considerada como estável e previsível. Por isso, dizem que o processo está sob controle estatístico.

As vantagens de utilizar a Carta de Controle são:

- 1) Conhecer as causas raízes dos problemas ocorridos no processo;
- 2) Registro formal das ocorrências, podendo ser utilizado como histórico posterior;
- 3) Registra o esforço aplicado pela equipe para controlar o processo;
- 4) As Cartas de Controle colaboram para aperfeiçoar o processo;

5) Melhoria na qualidade, custo por unidade e eficiência;

A teoria estatística desenvolvida por Shewhart para cálculo dos limites de controle é baseada na ideia da Distribuição Normal e, sendo o processo estável, os dados da amostra terão probabilidade muito próxima a 100% de estarem dentro do intervalo de -3 sigma e $+3$ sigma a partir da média populacional. Quando um valor fica fora desse intervalo, assume-se que o processo não é mais estável.

No entanto, há a possibilidade da existência de causas especiais. A ocorrência de qualquer um dos cinco testes que devem ser abordados, indica uma potencial causa especial atuando no processo e, conseqüentemente, a evidência de instabilidade e necessidade da série de pontos que precisa ser investigada.

Não se aprofundará nos testes e suas interpretações, mas sim, utilizar dessa abordagem para a análise dos resultados das Cartas de Controles que serão aplicadas no processo estudado. No entanto, para este projeto, existem alguns desafios a serem observados.

A maior parte das Cartas de Controle devem ser realizadas por amostras. E no caso deste projeto, estamos trabalhando com população (número total de produção e refugos), e mais, com variáveis discretas (contagem). Contudo, para que se consiga aplicar a Carta de Controle para esta situação, recorreremos a Carta I-AM (Individual-Amplitude). Entendemos ser a mais adequada, uma vez que ela pode ser trabalhada com a população (o total produzido em um mês, por exemplo), e ao mesmo tempo, por contagem.

A Carta I apresenta os valores individuais no eixo do tempo e a linha central é igual a média dos valores. Podem ser validados cinco critérios de instabilidade na Carta I. Em relação à Carta AM, ela apresenta os valores da Amplitude Móvel no eixo do tempo, uma medida de variabilidade de curto prazo. A linha central é igual à média das amplitudes móveis. Validamos apenas o critério “pontos fora dos limites de controle”. A amplitude móvel é calculada como o módulo da subtração de dois valores individuais consecutivos.

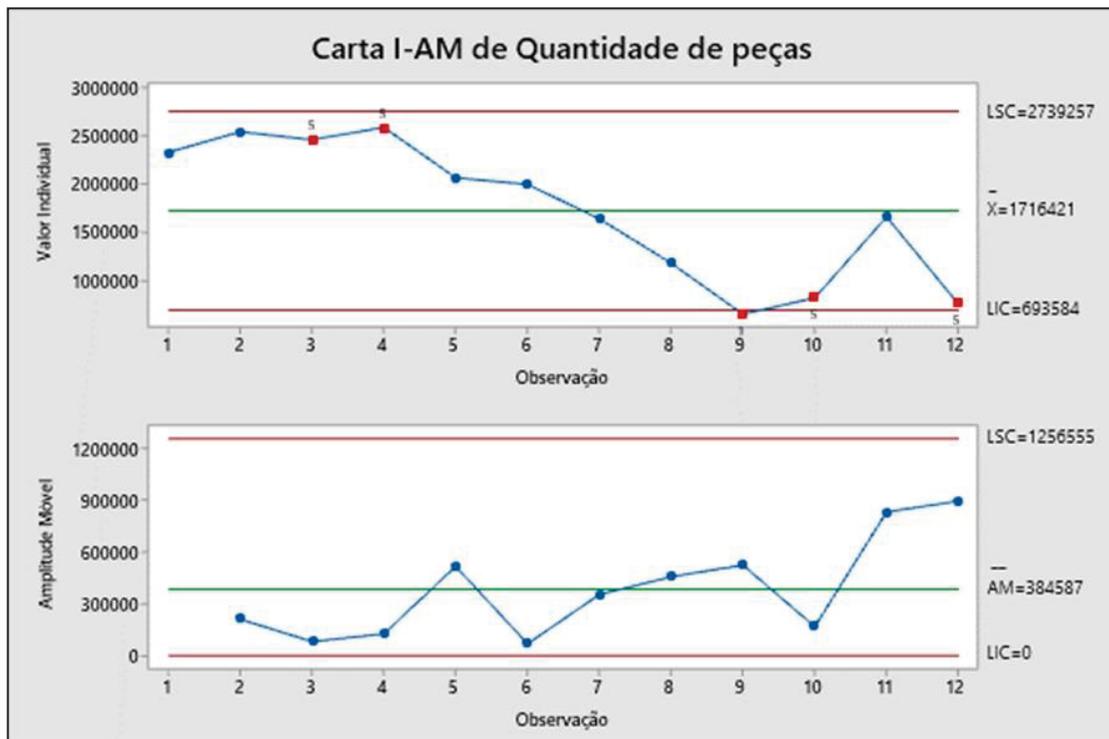
Esta observação é fundamental para que não se ocorra equívocos de aplicação dessa ferramenta. O entendimento dos dados, das informações, da estatística, e sobretudo, da melhor Carta de Controle a ser aplicada, se torna de grande relevância para uma melhor compreensão dos resultados apurados.

É importante constatar que, uma vez comprovado que o processo está sob controle estatístico, isto é, dentro dos limites de especificações de controle, deve-se verificar a sua capacidade. Ao contrário de situações que são mensurados por critérios amostrais, dentro de uma distribuição normal, onde se utilizam os indicadores CP e CPK, neste projeto em específico, se utilizará o nível sigma do processo, sendo esse, o mais apropriado.

A seguir, as figuras 21 e 22 ilustram as Cartas I-AM para a quantidade de peças

produzidas, e a Carta I-AM para a quantidade de refugos gerados.

FIGURA 21 – Carta I-AM da Quantidade de peças produzidas no período analisado.



Fonte: Autores (2023).

Ao observar o comportamento dos pontos na Carta de Controle, chamam a atenção cinco pontos em vermelho. O resultado para este teste aponta falhas em três situações: i) o Teste 1, mostra um ponto mais que 3,00 desvios-padrão da linha central. Esta falha pode ser observada no ponto 9; ii) o Teste 5, a qual mostra 2 de 3 pontos com mais de dois desvios-padrão da linha central (em um lado da LC). O teste falhou nos pontos 3, 4, 10 e 12; iii) o Teste 6, que identifica 4 de 5 pontos com mais de 1 desvio-padrão da linha central (em um lado da LC). Houve falha nos pontos 4 e 12.

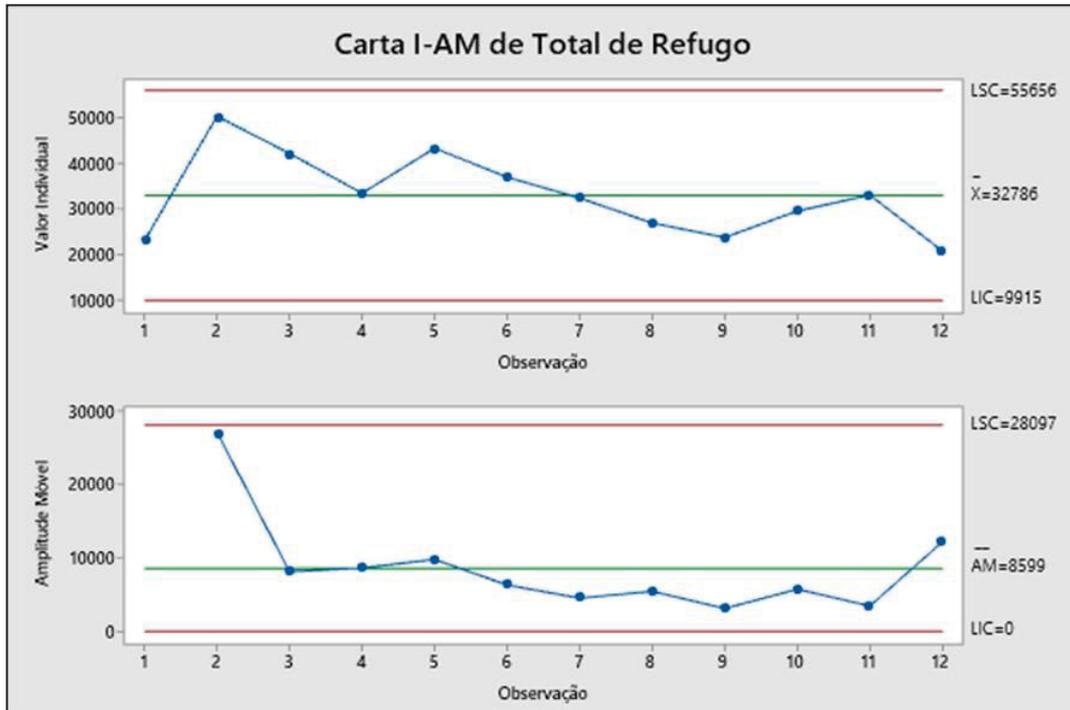
Com esses resultados apresentados pela Carta I, percebe-se que, existem causas especiais dentro do processo produtivo. Infere-se que, isto pode ser provocado pela oscilação da capacidade produtiva, à qual foi demonstrada na etapa *Define*, onde o gráfico sequencial mostrou uma forte tendência de baixa produção e instabilidade.

Ao analisar os gráficos da Carta I-AM (figura 22) do total de refugo, a primeira compreensão que se tem é que os dados estão dentro dos limites de controle. Não há nenhuma anomalia em relação aos pontos ilustrados.

Contudo, é trivial observar que, os limites inferior e superior de controle estão distantes da média, com uma amplitude elevada. Esta Carta de Controle comprova o que foi apresentado na etapa *Define*, cujo processo produtivo se encontra em sazonalidade e

tendência de baixa. Ou seja, nos quatro primeiros meses de produção, houve uma capacidade superior do processo produtivo, e que, a partir do quinto mês, foi decrescendo (com forte inclinação para baixo).

FIGURA 22 – Carta I-AM do total de refugos gerados no período analisado.



Fonte: Autores (2023).

Mesmo os dados permanecendo dentro de uma banda de controle, deve-se reduzir esta amplitude. Seria ideal que essas médias e o distanciamento entre os limites de controle sejam reduzidos. E esta observação poderá ser comprovada pela análise de capacidade do processo pela métrica - nível Sigma.

3.2.1 Capacidade do processo.

A capacidade de um processo é a habilidade de se gerar produtos dentro de uma faixa de especificação definida pela empresa ou pelo cliente, ou seja, a capacidade do processo é avaliada por meio da comparação da faixa característica do processo com a faixa de especificação.

O cálculo da Capacidade é baseado na distribuição de dados contínuos como, por exemplo, a distribuição Normal. Porém, sabemos que em alguns contextos trabalharemos com dados discretos atributivos, onde o valor do indicador é calculado com base em contagens.

O cálculo da Capacidade para atributos é baseado nos seguintes conceitos:

- 1) Defeitos: Falhas contáveis associadas a uma única unidade;
- 2) Defeituosos: Total de unidades com defeito, independentemente da quantidade de defeitos/unidade;
- 3) Oportunidade de Defeito: Cada especificação para satisfazer o cliente.

Principais Métricas: 1) DPMO: Defeitos por milhão de oportunidades; 2) Nível Sigma.

Esta métrica traduz de forma clara, a capacidade de se manter dentro das especificações, seja de um produto, processo ou da própria empresa. Pode ser utilizada como meta a ser atingida, e para realizar comparação com os valores do início e do final do projeto Seis Sigma para avaliação do desempenho.

Para isto, tem-se os principais drivers:

- 1) DPU – Defeitos Por Unidade;
- 2) DPO – Defeitos por Oportunidade;
- 3) DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidades;
- 4) Nível Sigma.

Para chegar até o DPMO, deve-se primeiro, calcular o DPU. Com isso, a fórmula do DPU é: $DPU = n^{\circ} \text{ Defeitos} / n^{\circ} \text{ Unidade}$. Depois, deve-se calcular o DPO que é definida como: $DPO = n^{\circ} \text{ Defeitos} / n^{\circ} \text{ Oportunidades} \times n^{\circ} \text{ Unidades}$. Para o presente projeto o número de oportunidades refere-se à quantidade de atributos que impactam a quantidade de defeitos, e seus respectivos pesos. Com o DPU e DPO calculados, consegue-se calcular a DPMO que é definida como: $DPMO = DPO \times 1 \text{ milhão}$.

O DPMO é de grande relevância, pois ele quem vai indicar a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades. No presente projeto há 3.438 defeitos por milhões de oportunidades, conforme a tabela 10. E para chegar ao nível Sigma, deve-se comparar esse valor com uma tabela Sigma disponibilizada (figura 23). Com isto, chegou-se a uma Escala Sigma de 4,2 o que é considerado razoável.

TABELA 10 - Nível sigma do processo produtivo.

Data	Quantidade defeitos	Total produzido	DPU	DPO	DPMO	Escala Sigma
mar/22	22.916	2.316.521	0,199101	0,0038202270	3,438	4,2
abr/22	50.047	2.526.768				
mai/22	41.921	2.446.005				
jun/22	33.265	2.571.773	DPU	DPO	DPMO	Escala Sigma
jul/22	43.073	2.054.935	0,016397	0,003279465	2,952	4,25
ago/22	36.748	1.986.874				
set/22	32.212	1.633.502				
out/22	26.748	1.177.203	DPU	DPO	DPMO	Escala Sigma
nov/22	23.622	653.063	0,024717	0,004943314	4,449	4,1
dez/22	29.375	820.473				
jan/23	32.848	1.652.653				
fev/23	20.652	757.279				
Total	393.427	20.597.049	Nota: Número de oportunidades para defeitos por unidade (O)=5 que representa 90% do total avaliado (22)			
Total - 6 primeiros meses	227.970	13.902.876				
Total - 6 últimos meses	165.457	6.694.173				

Fonte: Autores (2022)

Importante frisar que, para o cálculo do DPMO, deve-se usar como peso, a quantidade de atributos que incidem, diretamente, sobre a causa dos defeitos. Neste processo, de acordo com o que foi demonstrado na etapa *Define*, foram 22 atributos

observado como causa dos refugos, no entanto, se colocarmos esses 22 critérios como oportunidades, chegaremos a um DPMO de 868, para um nível Sigma de entre 4,6 e 4,7.

Figura 23 – Nível Sigma.

Sigma	DPMO	%	Sigma	DPMO	%	Sigma	DPMO	%
1,0	691.462	69,1%	2,0	308.770	30,9%	3,0	66.811	6,68%
1,1	660.083	66,0%	2,1	274.412	27,4%	3,1	54.801	5,48%
1,2	621.378	62,1%	2,2	242.071	24,2%	3,2	44.567	4,46%
1,3	581.815	58,2%	2,3	211.928	21,2%	3,3	35.931	3,59%
1,4	541.694	54,2%	2,4	184.108	18,4%	3,4	28.717	2,87%
1,5	501.350	50,1%	2,5	158.687	15,9%	3,5	22.750	2,28%
1,6	461.140	46,1%	2,6	135.687	13,6%	3,6	17.865	1,79%
1,7	421.428	42,1%	2,7	115.083	11,5%	3,7	13.904	1,39%
1,8	382.572	38,3%	2,8	96.809	9,7%	3,8	10.724	1,07%
1,9	344.915	34,5%	2,9	80.762	8,08%	3,9	8.198	0,82%
4,0	6.210	0,62%	5,0	233	0,023%	6,0	3	0,000%
4,1	4.661	0,466%	5,1	159	0,016%			
4,2	3.467	0,347%	5,2	108	0,011%			
4,3	2.555	0,256%	5,3	72	0,007%			
4,4	1.866	0,187%	5,4	48	0,005%			
4,5	1.350	0,135%	5,5	32	0,003%			
4,6	968	0,097%	5,6	21	0,002%			
4,7	687	0,069%	5,7	13	0,001%			
4,8	483	0,048%	5,8	9	0,001%			
4,9	337	0,034%	5,9	5	0,001%			

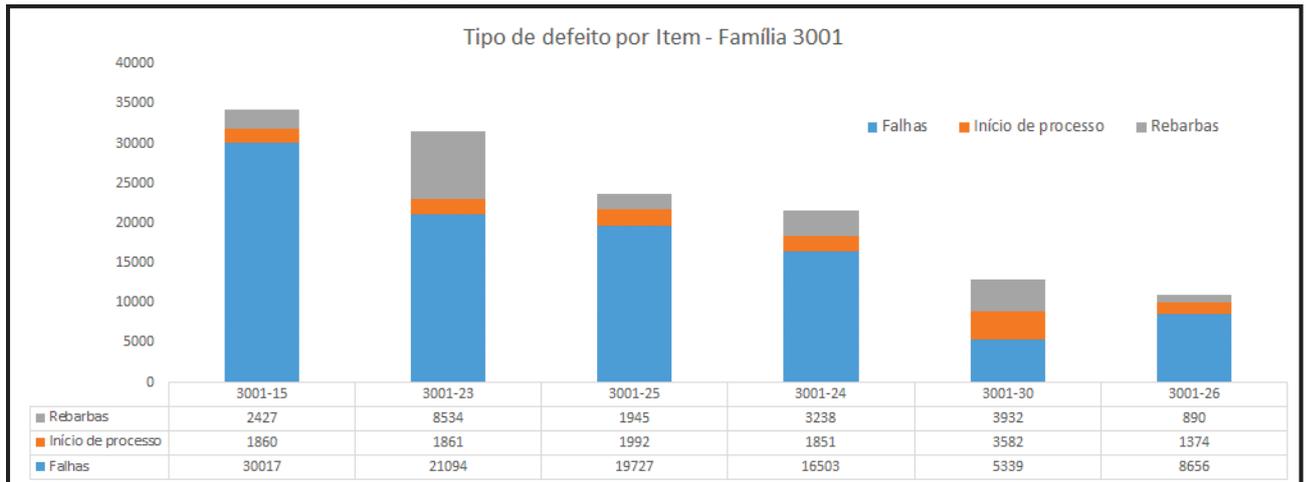
Fonte: www.voitto.com.br/blog/artigo/nivel-sigma

Utilizando o Gráfico de Pareto, percebeu-se que cinco atributos são responsáveis por, aproximadamente, 90% das causas dos refugos. Portanto, para a realização do cálculo de DPMO, se utilizará esses cinco atributos como peso, o que contribuiu para os números apresentados na tabela 10. É importante salientar que, se cinco atributos são responsáveis por 90% das causas de refugos, então, o resultado apresentado deve-se considerar 10%, já que esses critérios não abarcam 100% de todas as causas dos refugos, o que poderia gerar um viés de aumento do nível Sigma.

A partir dessa análise, consolida-se que, o processo produtivo se encontra no nível 4,2 Sigma, o que representa um espaço considerável para a implementação de melhorias. A partir deste ponto, é importante estratificar os defeitos dos refugos por cada item da família 3001.

Conforme a figura 24, foi estratificado os três defeitos de maior incidência apontados pelo gráfico de Pareto. Ao observar a imagem abaixo, nota-se que as “Falhas” é a maior voz das características para cada item da família 3001.

Figura 24 – Tipo de defeito por item da família 3001.

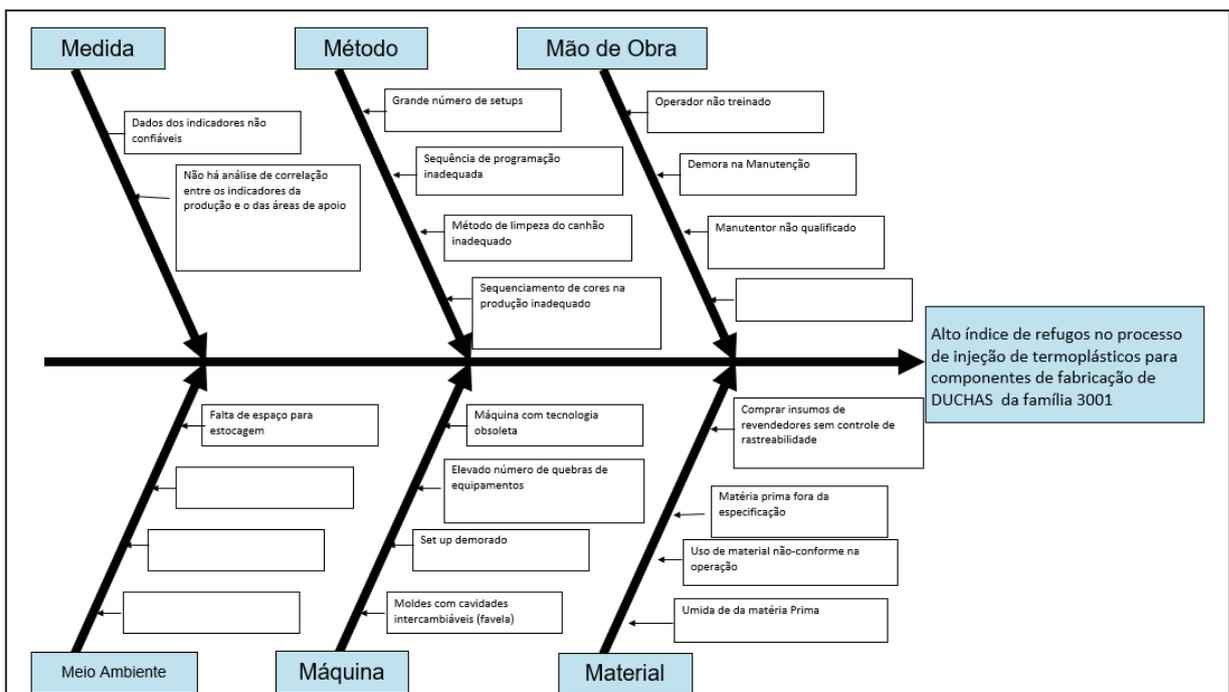


Fonte: Autores (2022).

Com a estratificação dos defeitos por item da família 3001, é necessário, levantar as causas potenciais por meio do diagrama de causa e efeito, ou como conhecido, diagrama de Ishikawa (6M's). Nesta etapa do projeto, é fundamental conhecer as causas, partindo da compreensão dos fenômenos e das características dos principais atributos que causam refugos.

Ao todo, foram levantados 18 possíveis causas potenciais. A figura 25 apresenta o diagrama de Ishikawa com as causas relacionadas a cada "M" para facilitar o entendimento sobre em quais fatores estão apresentados estes problemas.

Figura 25 – Diagrama de Ishikawa.

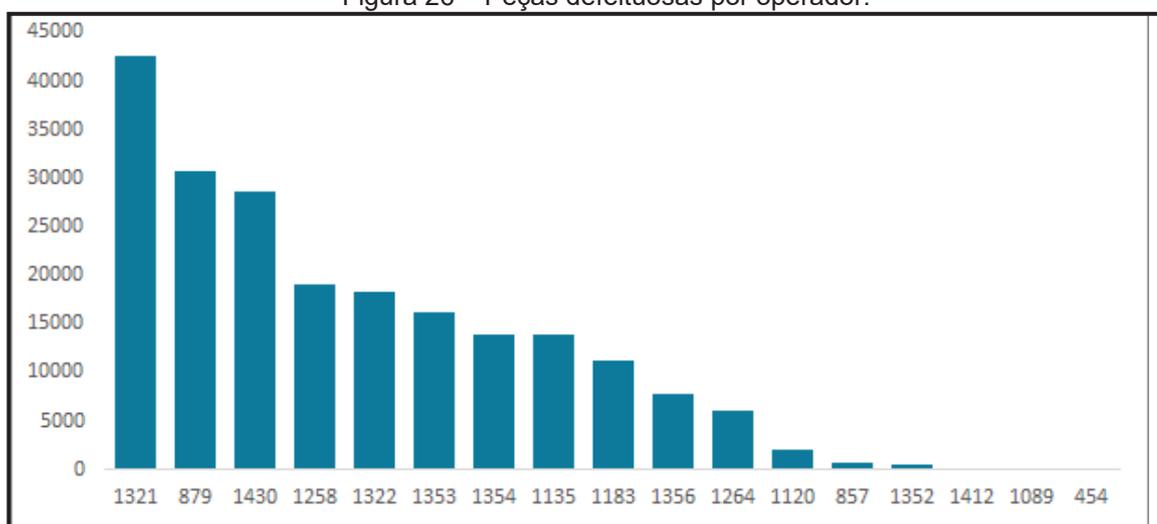


Fonte: Autores (2022).

Identificadas as causas potenciais por meio do diagrama de causa e efeito, o próximo passo foi mapear as variáveis críticas para análise. A primeira que pode ser considerada é a relação entre peças defeituosas por operador.

A figura 26 estratifica a quantidade de peças defeituosas por operador, que é identificado por código. No caso do operador com a identificação “1321”, foi o primeiro colocado na produção de peças, com 42.558 unidades defeituosas. A ilustração mostra que, a maior parte dos operadores têm um número significativo de peças produzidas com refugos. Nesta análise, indica que, a falta de treinamento e troca dos operadores pode ser a principal causa da ocorrência.

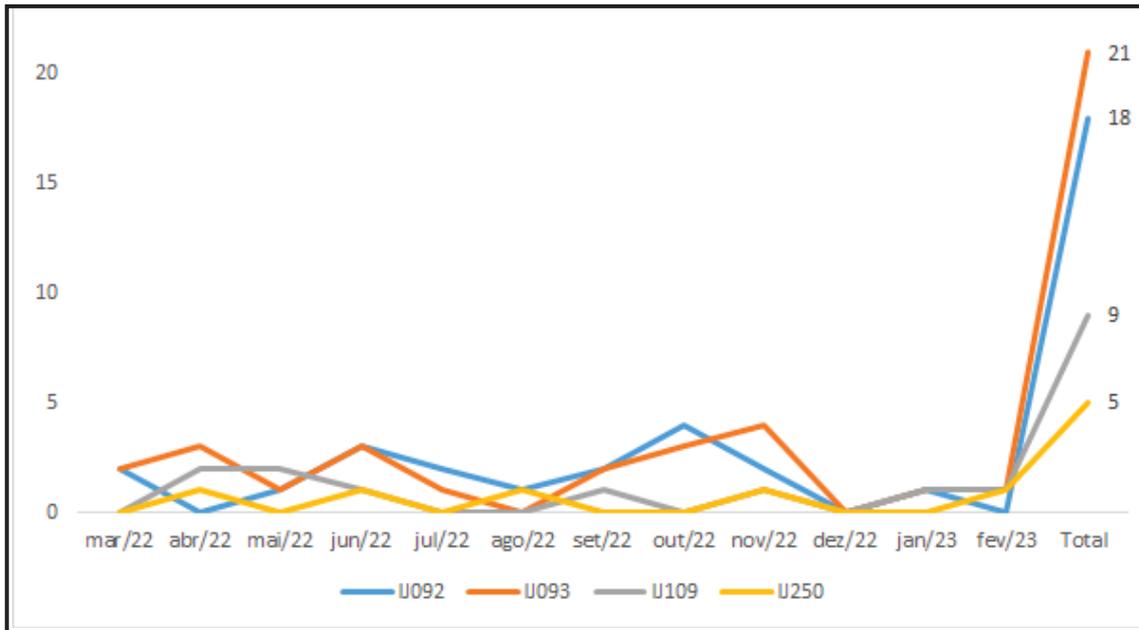
Figura 26 – Peças defeituosas por operador.



Fonte: Autores (2022)

Outra variável crítica do processo é o número de quebras de equipamentos, esta pode se relacionar pela quantidade de intervenções de manutenção corretiva nas injetoras. A figura 27 apresenta a linha do tempo ao longo de um ano e sobre o quanto de intervenções da manutenção foram necessários por injetora. E o mês de fevereiro foi o destaque, necessitando a compreensão das causas que provocaram tantas corretivas.

Figura 27– Intervenções da manutenção corretiva.



Fonte: Autores (2022)

E ainda pode-se destacar mais duas variáveis críticas do processo. A primeira, refere-se à qualidade da matéria-prima. Nesta parte, identificou-se que:

- 1) Matéria-prima comprada diretamente dos fabricantes;
- 2) Testes de validação não são realizados internamente ou externamente;
- 3) Inspeções realizadas somente com base em certificado.

A segunda variável diz respeito à falta de espaço para estocagem. Neste caso, os pontos levantados foram:

- 1) Avaliação das restrições de estoque apontadas durante visita;
- 2) Componentes grandes ocupam maioria do volume destinado a demais componentes;
- 3) Área de estoque mínimo não comporta toda a variação de componentes.

Para finalizar a Etapa *Measure*, definiu-se a meta global do projeto. A tabela 11 apresenta a consolidação da meta global em percentual de defeitos por modo de falha para dados históricos 2022 e 2023 comparando com a mesma sistemática, porém, após coleta de dados de 2023.

Tabela 11 – Comprovação da meta global.

% de defeitos por modo de falha para dados históricos 2022 e 2023			
Tipo de defeito	Total Geral	Total família 3001	Família 3001 -% por categoria/ total
Falhas	201.782,0	107.558	53,3%
Início de Processo	81.863,0	21.989	26,9%
Rebarbas	35.007,0	22.444	64,1%
Total	318.652,0	151.991	47,7%

Refugos x Produção primeiro trimestre 2023			
Mês	Refugo	Produção	% refugo geral
jan/23	32.848	1.652.653	1,99%
fev/23	20.652	757.279	2,73%
mar/23	21.689	857.286	2,53%
Total Trimestre	75.189	3.267.218	2,30%

% de defeitos por modo de falha para dados após coleta de dados 2023			
Tipo de defeito	Total Geral	Total família 3001	Família 3001 -% por categoria/ total
Falhas	32.848	18.165	55,3%
Início de Processo	20.652	6.243	30,2%
Rebarbas	21.689	13.330	61,5%
Total Trimestre	75.189	37.738	50,2%

Fonte: Autores (2022).

O quadro acima finaliza a Etapa *Measure*, e confirma a meta estabelecida pela Etapa *Define* de trabalhar com os três principais defeitos levantados, especialmente, no gráfico de Pareto. E a partir desse levantamento, conseguiu-se mapear as possíveis causas relacionadas a esses problemas e estratificá-los para as variáveis críticas do processo.

3.3 FASE ANALISAR (ANALYSE).

A etapa de Análise do Projeto vem na sequência, após a identificação das causas potenciais (possíveis) do problema. Para dar prosseguimento nas análises, com o intuito de chegar ao foco/raiz do problema, foi necessário realizar a elaboração do Mapa do Processo.

E este fluxograma está em formato de “zoom in”, ou seja, para uma melhor compreensão do fluxo de processos da produção. O “start” do processo produtivo parte do setor comercial/marketing.

No setor de vendas inicia-se a previsão de demanda. A partir deste ponto, é emitido um relatório de demanda para a fábrica. O PCP recebe esse documento e analisa a demanda e a disponibilidade da máquina e matéria-prima, e com isso, conseguir dar o próximo passo, que é apresentar a carga da programação no sistema.

Na sequência, esta informação é encaminhada para o setor de compras. Este departamento faz uma análise dos estoques para que se consiga emitir um pedido de compras, se necessário. O fluxo segue para o setor de logística interna que recebe estas

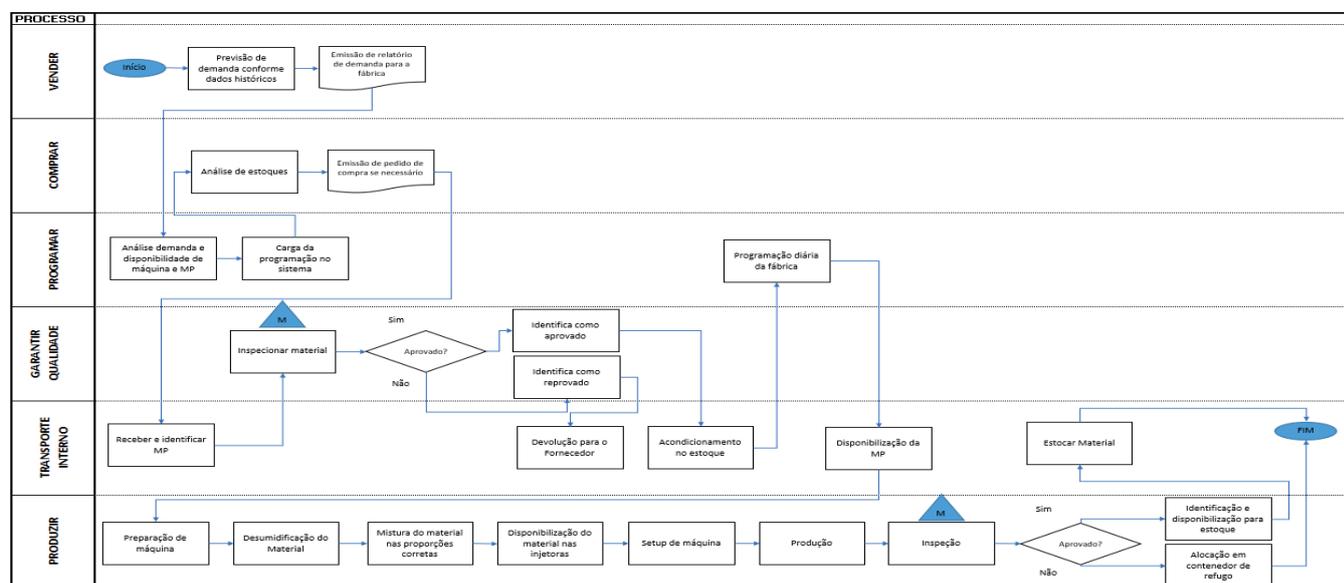
informações do setor de compras e identifica a MP.

Da logística interna, após o recebimento e identificação da MP, ela provoca a qualidade para a realização da inspeção de material. Se for aprovado, o setor identifica como aprovado, e chama a logística para acondicionar este material no estoque para estar à disposição na programação diária da fábrica

Em caso de reprovação, a qualidade notifica a logística para que este material seja devolvido ao fornecedor. Com a disponibilização da MP, o PCP emite a OP para o setor de produção, e que eles tenham a condição de fazer a preparação de máquina, desumidificação do material, a mistura do material nas proporções corretas, a disponibilização do material nas injetoras, realizar o setup das máquinas e por final, a produção. E a partir do produto produzido, realiza-se a inspeção.

No momento da inspeção do produto acabado, se este for aprovado, identifica-se e disponibiliza para o estoque e finaliza o ciclo. Em caso de reprovação do produto, este vai ser alocado em contenedor de refugio. Abaixo, segue o mapa do fluxo de processos (Figura 28).

Figura 28 – Mapa do fluxo de processos.



Fonte: Autores (2022).

Partindo do mapa de processo/fluxograma, enxergando de forma mais detalhada, o fluxo da produção, foi necessário mapear os potenciais causas do problema. Para isso, recorreu-se à ferramenta “Modo de Falha” para ajudar a destacar com fatos verificados “in loco” e dados qualitativos, as principais causas originadoras do fenômeno.

3.3.1 Levantamento das causas potenciais.

As causas levantadas que foram organizadas conforme diagrama de *Ishikawa* já

apresentado, foram priorizadas de acordo com um processo de multi-votação de acordo com o conhecimento da equipe multidisciplinar. Algumas ideias originadas do *Brainstorming* que tinham correlação foram aglutinadas nesse momento. Essa primeira síntese está de acordo com a tabela 12 apresentado a seguir:

Tabela 12 – Análise do Modo de Falha – causas prováveis.

Causas prováveis	Relação causa efeito	Aderência ao Modo de falha
Matéria prima fora de especificação	Material	Falhas / Rebarbas
Grande número de setups	Método	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Sequência de programação inadequada	Método	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Limpeza do canhão inadequada	Método	Início de processo
Falta de espaço para estocagem	Meio Ambiente	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Máquina com tecnologia obsoleta	Máquina	Falhas / Rebarbas
Elevado número de quebra de equipamentos	Máquina	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Operador não treinado	Mão de Obra	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Umidade da matéria prima	Material	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Parâmetros de máquina inadequado	Método	Falhas/Rebarbas/ Início de processo
Moldes com cavidades intercambiáveis	Máquina	Falhas/Rebarbas/ Início de processo

Fonte: Autores (2022)

Com base no conhecimento dos “donos” do processo, das 18 causas originais permaneceram somente 11, sendo sete descartadas nesse momento.

Importante observar que, das 11 causas pontuadas na relação causa e efeito, dentro das maiores vozes do problema analisado, 04 estão ligadas ao método. Em relação a máquinas, estas apareceram 03 vezes; já o material, 02 vezes, sobre o meio ambiente e mão-de-obra configuraram 01 vez cada.

Buscando uma maior precisão e uma melhor acurácia na identificação da(s) causa(s) raiz, foi necessário aplicar um fator de ponderação para atribuir um maior peso de influência que estas causas têm no problema investigado.

Com isso, chegou-se a 6 possíveis causas raiz do problema, que, novamente, comprovada por fatos e dados qualitativos (visita “in loco”, “*gemba walking*” (“Go & See”), “*Brainstorming*”, *Ishikawa* e análise do modo de falha).

Estas causas podem ser visualizadas na tabela 13, conforme apresentado abaixo.

Tabela 13 – Análise do Modo de Falha.

N.	Possíveis causas	Relação causa efeito	Aderência ao Modo de falha
P1	Grande número de setups	Método	Início de processo
P2	Sequência de programação inadequada	Método	Início de processo
P3	Falta de espaço para estocagem	Meio Ambiente	Início de processo
P4	Umidade da matéria prima	Material	Falhas
P5	Parâmetros de máquina inadequados	Método	Falhas/Rebarbas/
P6	Moldes com cavidades intercambiáveis	Máquina	Falhas/Rebarbas/ Início de processo

Fonte: Autores (2022)

As causas foram validadas utilizando, em sua maioria uma análise de “5 porquês” juntamente com a equipe multifuncional. Análises que demandam testes estatísticos serão apresentadas no decorrer desse capítulo.

Validação possível causa P1:

1 – Por que há grande número de peças defeituosas relacionadas ao início de processo?

R1: Porque há muitos setups.

R1.1: Porque as máquinas são desligadas no final do segundo turno e tem que ser religadas pela manhã (restrição do processo, verificar possibilidade de atuar em melhoria)

2- Por que há muitos setups?

R2: Sequência de programação é inadequada.

R2.1: Falta de espaço no estoque para trabalhar com máquina dedicada a peças de grande volume (alta produção/tamanho)

3 – Por que sequência de programação é inadequada?

R3: A sequência de programação não considera a fabricação de lote mínimo de produção e é realizada com base na baixa do estoque de produtos acabados.

3.1 – Por que há falta de espaço no estoque para trabalhar com máquinas dedicadas?

R3.1: Crescimento da empresa sem adequação/aumento da área destinada a estoques.

Cr1: A sequência de programação não considera a fabricação de lote mínimo de produção e é realizada com base na baixa do estoque de produtos acabados.

Cr2: Falta de adequação/aumento da área destinada a estoque de acordo com o incremento da demanda.

Durante análise para validação da possível causa “grande número de setups”

percebeu-se que houve aglutinação duas outras causas potenciais “sequência de programação inadequada – P2” e “falta de espaço para estocagem de componentes-P3”, resultando em duas causas-raiz, conforme citadas no parágrafo anterior.

Validação possível causa P4: foram coletados dados de umidade de matéria prima, conforme indicador do silo de secagem. Pelas coletas, verificou-se que o percentual de umidade variava entre 0,5% e 0,7%. Conforme recomendação do fabricante, na ficha técnica do produto, o percentual de umidade para PA é de 0,2% com tempo recomendado de secagem a 80°C por no mínimo 2 h em caso de exposição ao ambiente.

Utilizando os parâmetros já estabelecidos para a produção, com a máquina operando pós setup fez-se a seguinte coleta de dados (Tabela 14).

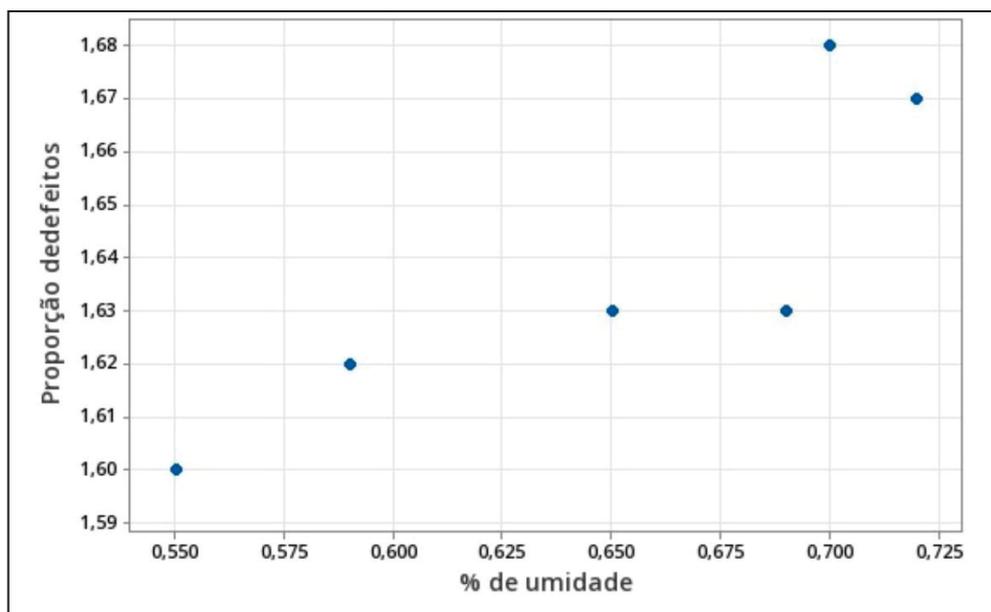
Tabela 14 – Proporção de defeitos x umidade matéria-prima.

Proporção de defeitos	% Umidade
1,67	0,72
1,63	0,69
1,63	0,65
1,62	0,59
1,68	0,7
1,6	0,55

Fonte: Autores (2023)

Organizando os dados em um diagrama de dispersão (Figura 29), pode-se perceber que existe certa correlação positiva, porém nesse momento não temos evidências estatísticas suficientes para tal conclusão.

Figura 29 – Diagrama de dispersão de proporção de defeitos versus umidade.



Fonte: Autores (2023).

Dessa maneira se fez necessária coleta de uma maior quantidade de dados (Tabela 15), porém com percentual de umidade mais próximos aos limites estabelecidos pelo fabricante. Dessa maneira, optou-se por uma pré-secagem em estufa antes da colocação da matéria prima nos silos de alimentação da máquina injetora.

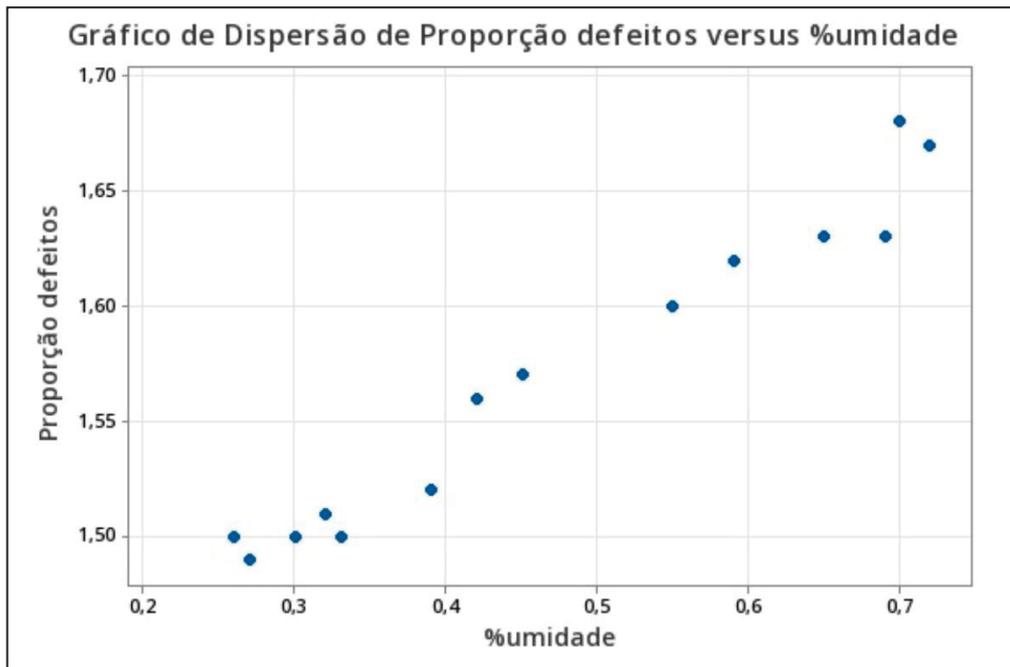
Tabela 15 – Proporção de defeitos x umidade matéria-prima.

Proporção de defeitos	% Umidade
1,67	0,72
1,63	0,69
1,63	0,65
1,62	0,59
1,68	0,7
1,6	0,55
1,56	0,42
1,57	0,45
1,52	0,39
1,5	0,33
1,5	0,3
1,51	0,32
1,49	0,27
1,5	0,26

Fonte: Autores (2023).

Como os dados da tabela anterior foram coletados utilizando-se os mesmos parâmetros de máquina, eles foram considerados para a análise de correlação (Figura 30).

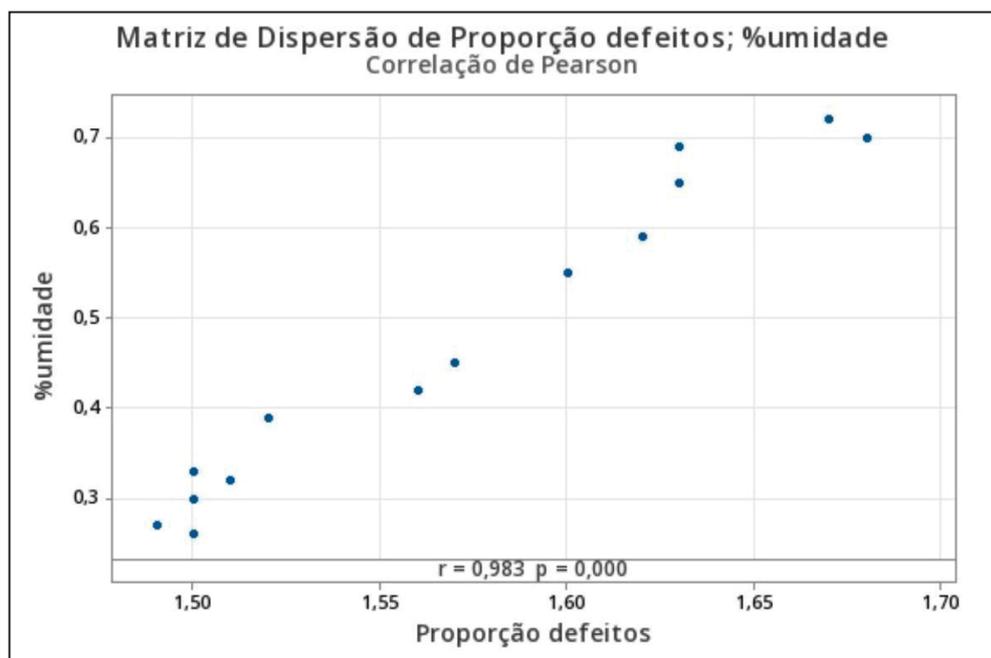
Figura 30 – Diagrama de dispersão de proporção de defeitos versus umidade.



Fonte: Autores (2023).

Observando o gráfico de dispersão com base em 14 observações, é possível inferir que ha relação direta entre a variável umidade da matéria prima e a proporção de defeitos encontrados na amostra, mas para a validação desse fator como causa, foi realizada uma análise de correlação (Figura 31), apresentado abaixo:

Figura 31 – Análise de correlação de Pearson.



Fonte: Autores (2023)

Gráfico acima apresenta valor do Coeficiente de correlação (Pearson) $r = 0,983$ o que

nos diz que temos uma forte correlação positiva entre as variáveis (indicador varia de +1 a -1), e Valor- $p < 0,05$ o que indica que esta afirmação é estatisticamente significativa. Vale salientar que para valores próximos a 0,3% de umidade a proporção de defeitos não sofre redução significativa, portanto é possível inferir que há outras causas interferindo no processo.

Dessa maneira a possível causa P4 foi validada, sendo:

CR3: umidade da matéria prima.

Validação possível causa P5/P6: para validação dessa causa em específico foram realizadas algumas observações no processo de setup dos moldes de injeção e entrevista com pessoal de ferramentaria. Os componentes da família 3001 são injetados dois moldes distintos, um exclusivo para o 3001-26 e outro que pode ser intercambiável entre 5 outros componentes. Esse molde pode trabalhar com 3 possíveis configurações, dependendo da necessidade do item, além de atuarem sob exceções (cavidades fechadas) quando ocorrem quebras.

Tais condições de operação, faz com que seja necessária uma formulação diferente de parâmetros de máquina para operação. Isso se explica pelo fato de que os componentes possuem volume e designe diferentes. Assim, quando uma cavidade de um componente menor já está preenchida, o cilindro ainda está forçando entrada de matéria prima para preenchimento da outra cavidade, isso dá origem a rebarbas ou a falhas de preenchimento e, faz com que os processos de setup de máquinas sejam mais demorados, culminando em um maior percentual de refugos.

CR4: parâmetros de máquina inadequados.

Identificadas as causas mais relacionadas e que possuem um maior poder de influência no problema investigado, consegue-se elaborar o plano de ação. Com isso, a etapa "Analyse" fica concluída com a apresentação de 04 causas raiz.

3.4 FASE MELHOAR (Improve).

Nesta etapa do processo, para a definição das possíveis ações de melhoria para as causas-raiz comprovadas, recorreu-se novamente ao *Brainstorming*, porém com foco para as possíveis soluções. A equipe multifuncional do projeto foi reunida novamente, porém com foco nas melhorias. As melhorias apontadas foram:

- 1- Realizar estudo para que a programação dos itens da família 3001 seja realizada com base em lote mínimo de produção e não com base na baixa de estoques de produto acabado;

- 2- Rever o programa de manutenção preventiva, bem como a lista de itens a serem checados e substituídos para evitar paradas de manutenção não programadas e aumento de reinício de processo;
- 3- Manter máquinas dedicadas trabalhando em terceiro turno para não haver parada entre turnos e refugos com reinício de processo;
- 4- Confeção de moldes dedicados para cada item/componente;
- 5- Programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término de lotes nos dois turnos disponíveis reduzindo reinício de processo;
- 6- Estudo para verticalização do estoque de componentes permitindo trabalhar com lotes mínimos e com máquinas dedicadas;
- 7- Sendo a verticalização viável, prover recursos e executar a mudança do layout do estoque;
- 8- Mudança de layout das injetoras para permitir ampliação da área de estocagem;
- 9- Inserir sistema de termopares calibrados e mostrador de temperatura para controlar a temperatura interna do misturador/ secador de matéria prima e estabelecer controle desse parâmetro no processo;
- 10- Realização de pré-secagem de matéria prima antes da disponibilização nos silos de alimentação;
- 11- Desenvolver parâmetro de máquina para todas as variações possíveis de cavidades do molde (molde intercambiável – “favela”) a fim de ser mais assertivo nos setups;
- 12- Realizar estudo para avaliar tempo de secagem x temperatura recomendada pelo fabricante e elaborar instrução e método de controle;

Após o processo de *Brainstorming* foi realizada a priorização de quais ideias deverão ser implementadas. O principal critério para a tomada de decisão, devido à sazonalidade do mercado, foi a questão do valor investido. Dessa forma, das 12 ações propostas, foram mantidas 9, conforme lista abaixo.

- 1- Realizar estudo para que a programação dos itens da família 3001 seja realizada com base em lote mínimo de produção e não com base na baixa de estoques de produto acabado;
- 2- Rever o programa de manutenção preventiva, bem como a lista de itens a serem checados e substituídos para evitar paradas de manutenção não programadas e aumento de reinício de processo;
- 3- Programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término de lotes nos dois turnos disponíveis reduzindo reinício de processo;
- 4- Estudo para verticalização do estoque de componentes permitindo trabalhar com

- lotes mínimos e com máquinas dedicadas;
- 5- Sendo a verticalização viável, prover recursos e executar a mudança do layout do estoque;
 - 6- Inserir sistema de termopares calibrados e mostrador de temperatura para controlar a temperatura interna do misturador/ secador de matéria prima e estabelecer controle desse parâmetro no processo;
 - 7- Realização de pré-secagem de matéria prima antes da disponibilização nos silos de alimentação;
 - 8- Desenvolver parâmetro de máquina para todas as variações possíveis de cavidades do molde (molde intercambiável – “favela”) a fim de ser mais assertivo nos setups;
 - 9- Realizar estudo para avaliar tempo de secagem x temperatura recomendada pelo fabricante e elaborar instrução e método de controle;

Durante o processo de priorização, a equipe foi questionada sobre possíveis riscos associados às soluções propostas uma vez que, a alteração de um parâmetro pode ter influência negativa em outro. Todos concordaram que as ações tomadas não trarão riscos durante sua execução, salvo a verticalização do estoque, caso ocorra, precisa acontecer de forma planejada, pois devido à restrição de espaço na fábrica, implica na parada do processo de injeção e parte do processo de tampografia.

3.4.1 Apresentação e execução do plano de ação.

A etapa de melhoria é a apresentação e execução do plano de ação para a tentativa de resolução das causas raiz que afetam, diretamente, o problema investigado. Naturalmente, a ferramenta mais utilizada nesta etapa do ciclo DMAIC é o 5W2H.

Neste projeto, a o desenvolvimento e aplicação do plano de ação vem de uma abreviação do 5W2H para 3W (o que, quem e quando) que são os pilares das informações mais relevantes no direcionamento das ações. A tabela 16 apresenta este modelo, conectando a ação, o responsável e o prazo para as cada causa raiz identificada – ainda, uma ação pode atacar duas ou três causas, de acordo com as conexões entre elas.

Tabela 16 – Plano de Ação.

CR	O que	Quem	Quando
CR1/ CR2	Realizar estudo para que a programação dos itens da família 3001 seja realizada com base em lote mínimo de produção e não com base na baixa de estoques de produto acabado.	Ivan Maneira	04/08/23
OM	Rever o programa de manutenção preventiva, bem como a lista de itens a serem checados e substituídos para evitar paradas de manutenção não programadas e aumento de reinício de processo.	Carlos Bomfim	03/05/23
OM	Programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término nos dois turnos disponíveis reduzindo reinício de processo	Ivan Maneira	02/05/23
CR2	Estudo para verticalização do estoque de componentes permitindo trabalhar com lotes mínimos e com máquinas dedicadas	Tiago Lourenço	16/05/23
CR2	Sendo a verticalização viável, prover recursos e executar a mudança do layout do estoque	Tiago Lourenço	TBD
CR3	Inserir sistema de termopares e mostrador de temperatura para controlar a temperatura interna do misturador/ secador de matéria prima e estabelecer controle desse parâmetro no processo	Carlos Bomfim	17/06/23
CR4	Desenvolver parâmetro de máquina para todas as variações possíveis de cavidades do molde (molde favela) a fim de ser mais assertivo nos setups	Israel Slompo	17/06/23

Fonte: Autores (2023)

Criando as conexões, as ações realizadas para o “grande número de setups” são: i) a realização de estudo para que a programação dos itens da família 3001 seja realizada com base em lote mínimo de produção e não com base na baixa de estoques de produto acabado; ii) rever o programa de manutenção preventiva, bem como, a lista de itens a serem checados e substituídos para evitar paradas de manutenção não programadas e aumento de reinício de processo; iii) programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término nos dois turnos disponíveis, reduzindo o reinício do processo.

Para a “sequência de programação inadequada”: i) a realização de estudo para que a programação dos itens da família 3001 seja realizada com base em lote mínimo de produção e não com base na baixa de estoques de produto acabado; ii) programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término nos dois turnos

disponíveis, reduzindo o reinício do processo.

Para a “falta de espaço para estocagem”: ii) realizar um estudo para verticalização do estoque de componentes permitindo trabalhar com lotes mínimos e com máquinas dedicadas; ii) sendo a verticalização viável, prover recursos e executar a mudança do layout do estoque.

Para a “umidade de matéria-prima”: i) inserir no sistema de termopares e mostrador de temperatura para controlar a temperatura interna do misturador/secador de matéria-prima e estabelecer o controle desse parâmetro de processo. ii) Realização de pré-secagem de matéria prima antes da disponibilização nos silos de alimentação. iii) Realizar estudo para avaliar tempo de secagem x temperatura recomendada pelo fabricante e elaborar instrução e método de controle;

Para os “parâmetros de máquina inadequados” e “moldes com cavidades intercambiáveis”: i) desenvolver parâmetro de máquina para todas as variações possíveis de cavidades do molde (molde favela) a fim de ser mais assertivo nos setups.

Para estas ações, foi escolhido e determinado um responsável e o prazo final da execução das tarefas.

Das 09 ações, foram executadas 06. Para as outras 03 foi necessário um tempo maior devido à exigência e complexidade das funções. As ações implementadas foram:

Em relação ao “grande número de setups”: rever o programa de manutenção preventiva, bem como, a lista de itens a serem checados e substituídos para evitar paradas de manutenção não programadas e aumento de reinício de processo;

Em relação a “sequência de programação inadequada”: programação de produção dos componentes da família 3001 para início e término nos dois últimos turnos disponíveis, reduzindo o reinício de processo.

Em relação a “falta de espaço para estocagem”: estudo para a verticalização do estoque mínimo de componentes, permitindo trabalhar com lotes mínimos e com máquinas dedicadas.

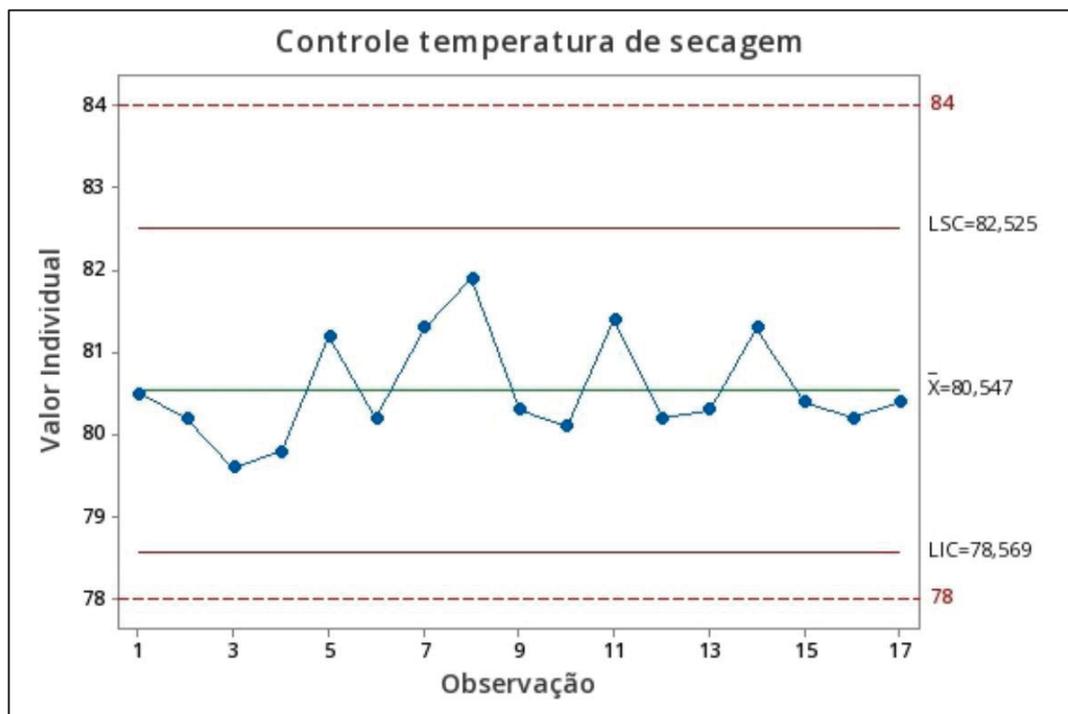
Em relação a “parâmetros de máquina inadequados” e “moldes com cavidades intercambiáveis”: desenvolver parâmetro de máquina para todas as variações possíveis de cavidades do molde (molde favela) a fim de ser mais assertivo nos setups.

Em relação a “umidade de matéria-prima”: i) Realização de pré-secagem de matéria prima antes da disponibilização nos silos de alimentação. ii) Realizar estudo para avaliar tempo de secagem x temperatura recomendada pelo fabricante e elaborar instrução e método de controle;

Na figura 32 é possível observar a carta de controle para valores individuais de temperatura de secagem.

Figura 32 – Carta de controle para valores individuais de temperatura de secagem.

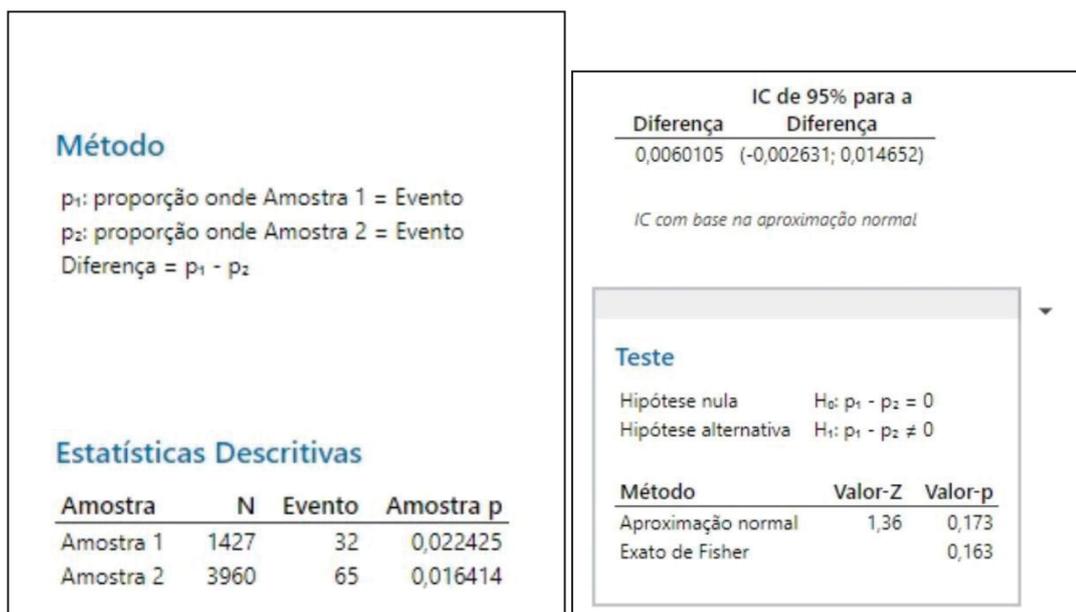
Fonte: Autores (2023).



Fonte: Autores (2023)

Na figura 33, pode-se verificar um checklist utilizado para realização do processo de *machinecare* que visa avaliar pontos fundamentais das injetoras que possam apresentar problemas e providenciar manutenção antes que a quebra ocorra.

Figura 34 – Teste de hipótese proporção defeitos.



Fonte: Autores (2023)

Como o Valor-p é maior que 0,05 não temos uma melhoria significativa na proporção de refugos somente com as ações que já foram implementadas. Os dados, porém devem ser monitorados através de uma carta de controle de proporção de defeitos que foi implementada para controle do processo.

Na figura 35 é possível observar a carta de controle proporção defeitos.

Figura 35 – Carta de Controle Proporção defeitos.

CARTA P - PROPORÇÃO DE PRODUTOS DEFEITUOSOS																				
Nota: O cálculo da proporção é realizado dividindo-se o número de produtos defeituoso do turno pelo total de itens da amostra (componentes bons + componentes reprovados). ATENÇÃO: sempre que houver uma parada não planejada o incidente deve ser registrado no diário de bordo														Componentes:			Turno:			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Total de peças																				
Total defeituosos																				
Proporção																				
LSC 0,12																				
0,1																				
P médio 0,06																				
0,5																				
LIC 0,0																				
DIÁRIO DE BORDO																				
DATA	DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA								AÇÃO PARA CORREÇÃO								RESPONSÁVEL			

Fonte: Autores (2023)

A equipe recomenda a implementação das ações pendentes e o acompanhamento do indicador de proporção de refugos após a realização dessa atividade. Caso o indicador não demonstre os ganhos esperados, é necessária uma nova rodada de análise de falha com a equipe multifuncional para avaliar se as causas não priorizadas têm influência direta sobre o processo ou, ainda, o surgimento de novas possíveis causas para estudo.

Recomenda-se também a implementação de uma análise de risco baseada no FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) tanto para novos projetos como para novos processos e, com isso o desdobramento dos controles para um Plano de Controle do produto/processo.

5. CONCLUSÕES.

O presente trabalho mostrou a importância da aplicação da Metodologia Six Sigma para a solução de problemas. Ainda que não tenha sido possível aplicar todas as ações recomendadas durante a realização do projeto, acredita-se que os resultados alcançados são significativos uma vez que mostrou várias oportunidades de melhoria no processo, além do aprendizado alcançado pela aplicação de técnicas estatísticas para a solução de problemas além do ganho financeiro que se reproduzirá ao longo do tempo assim como a implantação da metodologia de forma cultural nos processos organizacionais.

A execução deste projeto apresentou vários desafios relacionados a coleta de dados, de padronização dos processos por parte da empresa. A aplicação da metodologia Black Belt Six sigma proporcionou termos uma visão alinhada desde a definição até o controle e a demonstração de resultados.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros.

- Desdobramento das ações para outra família de produtos;
- Desdobramento dos controles implementados.
- Utilização de softwares de simulação de fluxo para analisar o processo de injeção atual (moldes e parâmetros do processo).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORRÊA NETTO, O. J.; VIEIRA, G. E. Kaizen Preparação do Processo de Produção: estudo de caso de melhoria contínua em indústria cosmética. In: Anais do XV Simpósio de Engenharia de produção – SIMPEP 2008.

PASSARELLA, M. Benchmarking Production System. 2007.

YAMASHINA, H. Challenge to World Class Manufacturing. International Journal of Quality of Reliability Management. v. 17, No. 2, pp. 132-143, 2000.

SCHONBERGER, R. World class manufacturing: the lessons of simplicity applied. Seattle: Free Press, 1986.

CUNHA, A. - Manual do projetista para moldes de injeção de plásticos: moldação por injeção e materiais plásticos. Marina Grande: Centimfe, 2003.

SANTOS L. U. – Modelo e processo de desenvolvimento integrado de moldes para injeção de termoplásticos. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2015, pág. 32.

ASHBY, M.F.; JONES, D.H. - Engeneering Materials 2, Pergamon Press, 1988. pp 237-238.

WERKEMA, C. Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas. 1ed. São Paulo: Gen Atlas, 2012.

KÜGER, R. Melhoria na gestão da capacidade produtiva através da aplicação das ferramentas OEE e UEP nos processos industriais. p.11. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

www.voitto.com.br/blog/artigo/nivel-sigma, acesso dia 02 de julho de 2023.