



LEONARDO RODRIGUES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE E
ESTATÍSTICAS EM PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA**

**LAVRAS – MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Leonardo Rodrigues de.

Aplicação de ferramentas de qualidade e estatísticas em
processo de injeção plástica / Leonardo Rodrigues de Souza. - 2023.
50 p. : il.

Orientador(a): Luana Elis de Ramos e Paula.

Coorientador(a): Natália Maira Braga Oliveira, Raphael
Nogueira Rezende.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Seis Sigma. 2. Gestão da Qualidade. 3. Controle de
Processos. I. Paula, Luana Elis de Ramos e. II. Oliveira, Natália
Maira Braga. III. Rezende, Raphael Nogueira. IV. Título.

LEONARDO RODRIGUES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE E ESTUDO ESTATÍSTICO EM
PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Luana Elis de Ramos e Paula
Orientadora

**LAVRAS - MG
2023**

LEONARDO RODRIGUES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE E ESTUDO ESTATÍSTICO DO
PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA.
APPLICATION OF QUALITY TOOLS AND STATISTICAL STUDY OF PLASTIC
INJECTION PROCESS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em: 10/07/2023

Profa. Dra. Luana Elis de Ramos e Paula –UFLA

Profa. Dra. Natália Maira Braga Oliveira – UFLA

Prof. Dr. Raphael Nogueira Rezende– IFSULDEMINAS

Profa. Dra. Luana Elis de Ramos e Paula
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho a todos que despertaram a curiosidade em mim, todos que me ensinaram e a todos que pude contar com a ajuda. Este é apenas o fim de um ciclo e começo de uma grande trajetória que irá buscar meios de transformar o mundo, torná-lo melhor e mais fácil para as próximas gerações que virão.

RESUMO

A busca pelo aperfeiçoamento dos processos de produção, redução de custos, aumento da qualidade e entrega de produtos de excelência faz parte da disputa pelo mercado consumidor. Este estudo teve por objetivo aplicar conhecimentos em engenharia química, ferramentas de qualidade com baixo custo de implementação e também ferramentas estatísticas baseadas em Six Sigma para controlar o processo de injeção plástica a fim de produzir peças com qualidade superior. O trabalho ocorreu em uma empresa de manufatura no seguimento de eletrodomésticos localizada no Brasil no estado de São Paulo, onde seus produtos são voltados tanto para o mercado interno quanto para exportação. A redução da variação do processo foi de 6%, o que acarretou em deslocamento da média do para a nominal de 459,000 mm que pode ser quantificado pelo aumento de Cpk de 77,92%. A implementação do controle estatístico do processo foi um ganho, visto que os indicadores puderam ser acessados facilmente e divulgados a fim de gerar mais transparência e identificar pontos que precisam de melhoria de maneira mais efetiva.

Palavras-chaves: Manufatura. Cartas de Controle. Gestão da Qualidade. Seis Sigma. Controle de Processos.

ABSTRACT

The search for the improvement of production processes, cost reduction, increased quality and delivery of excellent products is part of the dispute for the consumer market. This study aimed to apply knowledge in chemical engineering, quality tools with low implementation cost and also statistical tools based on Six Sigma to control the plastic injection process in order to produce parts with superior quality. The work took place in a manufacturing company in the segment of household appliances located in Brazil in the state of São Paulo, where its products are aimed at both the domestic market and export. The reduction of the process variation was 6%, which resulted in a shift from the mean to the nominal of 459,000 mm, which can be quantified by the increase of Cpk of 77.92%. The implementation of the statistical control of the process was a gain, since the indicators could be easily accessed and disseminated in order to generate more transparency and identify points that need improvement more effectively.

Keywords: Manufacturing. Control Charts. Quality Management. Six Sigma. Process Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema simplificado de uma máquina de injeção plástica	14
Figura 2 - Diagrama de Ishikawa e ilustração dos 6M.....	18
Figura 3 - Diagrama de Pareto	20
Figura 4 - Representação do Ciclo PDCA	21
Figura 5 - Distribuição normal de média “ μ ” e desvio variância “ σ^2 ”.....	25
Figura 6 - Distribuição normal entre os limites de controle.....	27
Figura 7 - Relação entre Cp e Cpk	27
Figura 8 - Típica carta de controle	29
Figura 9 - Processo de produção: entradas e saídas	29
Figura 10 - Unidade de lavagem	30
Figura 11 - Árvore de amostragem da coleta de dados	32
Figura 12 - Diagrama de Ishikawa para o processo de injeção plástica.....	40
Figura 13 - Ciclo PDCA para o processo de injeção plástica	46

LISTADE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de Pareto para injeção de PVC.....	35
Gráfico 2 - Diagrama de Pareto para injeção de PP.....	36
Gráfico 3 - Carta de Controle Individual para Diâmetro Externo.....	37
Gráfico 4 - Carta Amplitude Móvel para Diâmetro Externo (MR).....	38
Gráfico 5 - Carta de Controle Individual para Diâmetro Externo após as implementações.	42
Gráfico 6 - Carta Amplitude Móvel para Diâmetro Externo (MR) após as implemetações.	43
Gráfico 7 - Histograma do Banco de Dados Inicial	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis do desvio padrão e PPM esperado em 95% de confiança.....	25
Tabela 2 - Principais falhas de um processo de injeção de PVC.....	34
Tabela 3 - Principais falhas de um processo de injeção de PP	36
Tabela 4 - Capacidade de processo para o Diâmetro Externo	38
Tabela 5 - Capacidade de processo para o Diâmetro Externo após as implementações	42

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

5W2H	5Whys 2 How (5 Porquês 2 Comos)
CEP	Controle Estatístico de Processo
CL	Control Limit (Limite de Controle)
Cp	Capacidade do processo
Cpk	Capacidade real do processo
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis (Análise do Modo de Falha e do Efeito)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCL	Lower Control Limit (Limite de Controle Inferior)
LSL	Lower Specified Limit (Limite Inferior Especificado)
MR	Moving Range (Média Móvel)
PDCA	Plan – Do – Check – Act (Planejar – Fazer – Verificar – Agir)
POP	Procedimento Operacional Padrão
Pp	Performance do processo
PP	Polipropileno
Ppk	Performance real do processo
PPM	Peças com defeito por 1 milhão de peças
PVC	Policloreto de Vinila
TQM	Total Quality Management (Gerenciamento Total da Qualidade)
UCL	Upper Control Limit (Limite de Controle Superior)
USL	Upper Specified Limit (Limite Superior Especificado)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Injeção Plástica	14
3.2 Qualidade.....	15
3.3 Ferramentas da qualidade	17
3.3.1 5W2H	17
3.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	18
3.3.3 Diagrama de Pareto	19
3.3.4 Ciclo PDCA	20
3.4 Distribuição Normal	22
3.4.1 Teorema do Limite Central	23
3.4.2 Hipótese Nula	23
3.4.3 Teste de hipótese nula com a distribuição t de Student.....	24
3.5 6 sigma	25
3.5.1 Capacidade de processo	26
3.5.2 Carta de Controle	28
4 METODOLOGIA	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Melhoria da coleta de dados	33
5.2 Construção do Diagrama de Pareto.....	33
5.3 Avaliação do Diâmetro Externo	37
5.4 Identificação do problema através do 5W2H.....	39
5.5 Fatores que influenciam na variação dimensional	39
5.6 Diâmetro externo: após as implementações	41
5.7 Intervalo de confiança para a média do diâmetro a partir de uma distribuição t de Student.....	43
5.8 Melhoria contínua.....	45
6 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo aperfeiçoamento dos processos de produção, redução de custos, aumento da qualidade e entrega de produtos de excelência faz parte da disputa pelo mercado consumidor. A consolidação de uma marca forte é capaz de se tornar sinônimo de impecabilidade, onde no ápice da conquista dos consumidores se torna um “branding”, que é quando o nome de uma marca se associa ao nome do produto. Na indústria de eletrodomésticos essa disputa nunca deixou de existir, e ainda vai perpetuar por muito tempo com o pensamento de melhoria contínua, a fim de facilitar a vida em casa.

A importância do consumidor é evidente em todas as etapas do processo de produção, desde o desenvolvimento do produto até a sua comercialização. Além disso, o consumidor exerce uma influência significativa na garantia da qualidade dos diversos setores. À medida que as expectativas dos consumidores aumentam, as empresas são incentivadas a produzir com níveis mais elevados de qualidade e expectativas de redução do custo de seus produtos. Os consumidores têm acesso a informações detalhadas sobre os produtos por meio de análises, avaliações e opiniões compartilhadas. Essas informações influenciam diretamente a reputação das marcas e podem afetar a decisão de compra de outros consumidores. Portanto, para se manterem competitivas, as empresas precisam entregar produtos duráveis, confiáveis e de alto desempenho, que atendam às expectativas.

No setor de eletrodomésticos, as disputas ocorrem conforme mencionado anteriormente. Desta forma, diversas metodologias foram criadas, aperfeiçoadas e aplicadas a fim de garantir otimização de tempo, espaço e recursos. Dentre elas, a metodologia Six Sigma, que visa a redução de variações e a busca pela excelência operacional. Essa metodologia utiliza ferramentas estatísticas e estratégias de gestão para otimizar os processos, melhorar a eficiência, aumentar a satisfação do cliente e impulsionar a lucratividade das organizações.

Alinhado ao Six Sigma, o Controle Estatístico de Processos (CEP) tem se mostrado promissor para monitoramento e controle de qualidade. Esta metodologia identifica variações indesejadas no processo, permitindo a tomada de medidas corretivas antes que afetem negativamente a qualidade do produto ou serviço final. Além disso,

reduz a variabilidade, os defeitos, melhora a eficiência e garante a consistência da qualidade nos processos.

Alinado ao estudo da qualidade, o processo de moldagem por injeção plástica é utilizada em uma ampla variedade de setores, como automotivo, linha branca, eletrônico, embalagens e produtos de consumo, devido à sua eficiência, versatilidade e capacidade de produção em massa. Nesse processo, o plástico é aquecido e injetado em um molde com a forma desejada. O molde é projetado com cavidades e canais que permitem o preenchimento adequado do plástico liquefeito, que é resfriado e solidificado dentro do molde. Após a solidificação, a peça é removida do molde, resultando em um produto com precisão dimensional, detalhes e alta qualidade (MENGES; MICHAELI ;MOHREN, 2001).

Segundo Amilton Mainard, houve um crescimento de 10% a 12% do segmento de injeção plástica em 2020. As injetoras são as máquinas mais procuradas pela indústria do plástico. Estima-se, usando a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que 45 % do total de produtos produzidos são derivados da injeção como processo produtivo. De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (Abiplast), em 2022, o setor contava com 11,3 mil empresas transformadoras de plásticos. Em 2022, foram processadas 6,7 milhões de toneladas de plástico, que geraram faturamento de R\$ 117,5 bilhões. Não existem informações precisas sobre a evolução das vendas das injetoras importadas, que têm participação importante no mercado nacional. As injetoras chinesas são fortes concorrentes das máquinas nacionais em muitos segmentos da transformação. Já as europeias são procuradas pelos transformadores que buscam soluções mais sofisticadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi aplicar conhecimentos da engenharia química e ferramentas estatísticas para controlar o processo de injeção plástica a fim de produzir peças com mais qualidade.

2.2 Objetivos específicos

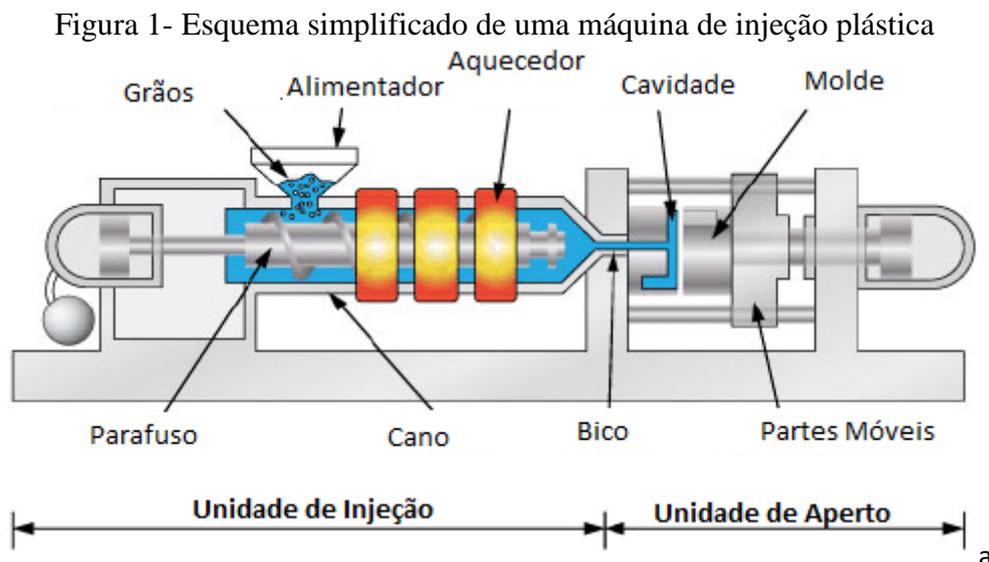
Avaliar a variação dimensional de peças injetadas de eletrodoméstico por meio de ferramentas de qualidade.

Indicar ferramentas de qualidade que sejam efetivas e tenham baixo custo a fim de controlar e melhorar o processo de injeção e otimizar a coleta de dados das respostas conforme plano de controle.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Injeção Plástica

O processo de moldagem por injeção é um dos principais métodos de produção no processamento de plásticos; é usado para produzir peças moldadas de várias complexidades que devem ser produzidas em números médios a grandes de unidades. As vantagens deste processo são a rota direta da matéria-prima à peça acabada, muito pouco ou nenhum acabamento das peças moldadas, total automatização, alta reprodutibilidade, baixo custo por peça para grandes volumes (MENGES; MICHAELI ;MOHREN, 2001). A Figura 1 mostra o perfil de uma máquina de injeção plástica e seus principais componentes.



Fonte: adaptado de Svečko et al. (2013)

A matéria-prima utilizada na injeção é geralmente na forma de grãos; a mais comum é o polietileno. A alimentação ocorre na unidade de plastificação, onde a matéria-prima será derretida. A unidade de plastificação é geralmente uma extrusora de rosca única na qual o parafuso alterna coaxialmente contra um cilindro acionado hidráulicamente. O parafuso continuamente leva os grãos para a unidade aquecedora que os derrete para formar um líquido fundido que é transportado para a cavidade do molde pela rotação da pá. Como o bocal de injeção ainda está fechado durante a plastificação, o material fundido é empurrado para a frente do parafuso. Como resultado, o parafuso é empurrado para a direita contra a resistência do cano, que é chamada de contrapressão (SVEČKO et al, 2013).

No início do ciclo, o molde é fechado acionando a prensa, que em uma máquina de moldagem por injeção é chamada de unidade de fixação. Antes do degelo, que é gerado e fornecido pela unidade de plastificação (em uma quantidade precisa e medida), o material é injetado no molde fechado, a unidade de plastificação atravessa contra o molde, fazendo com que bico de injeção da unidade de plastificação pressione contra a bucha de entrada do molde. A pressão com que o bico é pressionado contra a bucha de entrada deve ser ajustada de tal forma que a junta permaneça selada quando o material fundido for injetado posteriormente. Ao mesmo tempo, o bocal é aberto e o material escoia pela frente do barril na cavidade do molde (SVEČKO et al., 2013).

À medida que a cavidade é preenchida, a pressão aumenta no interior. Isso é neutralizado pressionando o botão de unidade de fixação contra o molde sob tanta força de fixação quanto possível, para evitar o derretimento escapar para fora da cavidade através das linhas de separação do molde. A ligação entre o molde e a unidade de plastificação é mantida até o enchimento da cavidade do processo estar completa. Entretanto, o preenchimento da cavidade não significa o fim do processo porque o líquido muda de volume ao solidificar. De modo que mais material fundido possa ser forçado a entrar no molde para compensar a diferença de volume. A conexão entre o molde e a unidade de injeção é quebrada ao fixar a unidade de plastificação, fechando o bico injetor (SVEČKO et al., 2013).

A separação do bico causa isolamento térmico entre o molde e a unidade de plastificação, pois estes estão em temperaturas totalmente diferentes. Como o processo de plastificação requer um certo tempo, assim que o bico é destacado e fechado, a unidade de plastificação começa a girar, derretendo-o e movendo-o para a frente. Quando a peça moldada solidifica a ponto de manter sua forma sem suporte externo, a unidade de fechamento abre o molde e a moldura é empurrada para fora da cavidade por ejetores e o ciclo se repete (SVEČKO et al., 2013).

Entretanto, este processo ainda apresenta algumas desvantagens como o investimento caro em equipamentos, os custos de operação potencialmente altos e a necessidade de projetar peças moldáveis (MENGES; MICHAELI ;MOHREN, 2001).

3.2 Qualidade

A qualidade pode ser definida como o grau de excelência ou mérito de um produto ou serviço, e muitas vezes é considerada em termos de adequação ao propósito

e capacidade de atender às necessidades e expectativas dos usuários pretendidos. A qualidade é um conceito multifacetado, abrangendo aspectos como funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, desempenho, durabilidade e estética, além de atender aos padrões regulamentares e da indústria (FEIGENBAUM, 1990).

Segundo Ishikawa (1985), a qualidade é o resultado da combinação de vários fatores e considerações que alinham os aspectos técnicos com a necessidade do consumidor. As características compostas do produto, isto é, atributos físicos, econômicos, técnicos e sociais são o resultado da integração de todas as partes individuais que desenvolveram o produto.

No decorrer do tempo o conceito de qualidade sofreu alterações significativas, uma vez que as indústrias, os produtos e as tecnologias se direcionaram para atender as expectativas e necessidades dos consumidores.

No início do século XX, a qualidade de um produto ou serviço era determinada pela capacidade em realizar suas funções de forma adequada. Já na década de 50, Philip Crosby propôs que a qualidade está relacionada à satisfação do cliente, Crosby também argumentava que para assegurar a qualidade era necessário a prevenção de erros juntamente com a inspeção. O período pós-guerra trouxe ainda dimensões novas ao planejamento das empresas. Em virtude da incompatibilidade entre seus produtos e as necessidades do mercado, passaram a adotar um planejamento estratégico, pois caracterizava uma preocupação com o ambiente externo às empresas (LONGO,1996).

Nos anos 90, a abordagem da qualidade evoluiu ainda mais com a adoção da filosofia do gerenciamento da qualidade total ou TQM (sigla que vem do inglês “Total Quality Management”)(JURAN; GRYZENIA, 2007). Neste modelo, a qualidade é vista como uma responsabilidade de toda a empresa e não apenas de departamentos específicos, como o de inspeção ou de satisfação do cliente. Além disso, o TQM enfatiza a importância da colaboração entre todas as partes interessadas na busca da excelência da qualidade.

Atualmente, a ISO (Organização Internacional de Normas) define qualidade como a adequação e conformidade dos requisitos que a própria norma e os clientes estabelecem. Em outras palavras, a qualidade é o nível de perfeição de um processo, serviço ou produto entregue pela sua empresa (ABNT, 2004).

Portanto, o conceito de qualidade iniciou na funcionalidade do produto ou serviço e atualmente está em uma cadeia complexa de metodologias, processos, pessoas,

técnicas e tecnologia que buscam atender às expectativas dos clientes. Sendo possível quantificar qualidade através da relação entre dados de processo e satisfação dos consumidores.

3.3 Ferramentas da qualidade

As ferramentas de qualidade são metodologias criadas para ajudar a garantir a excelência em processos e produtos de uma organização, essas ferramentas foram desenvolvidas e aprimoradas com o passar do tempo e atualmente são essenciais na gestão da qualidade de diversas áreas, como processos, manufaturas, serviços e órgãos governamentais (SLACK et al, 2009).

Existem diversas ferramentas adotadas para promover a gestão dos processos de forma a otimizar a qualidade, dentre estas pode-se citar: ciclo PDCA, 5W2H (5 Whys and 2 Hows), Diagrama de Pareto, e Diagrama de Ishikawa.

3.3.1 5W2H

O 5W2H é uma ferramenta de gestão que foi desenvolvida para sanar problemas que ocorrem nos processos metodológicos das empresas. De acordo com Lucinda (2016), ela funciona como um “checklist” de atividades bem claras e definidas que devem ser realizadas em um projeto. Essa ferramenta tem a propriedade de resumir as atividades diárias e por conseguinte auxilia no planejamento, distribuição de afazeres, definir os itens que estarão contidos em um plano de ação, bem como registrar e estipular prazos para a sua concretização.

Para Lucinda (2016) os 5W2H é aplicado respondendo às seguintes 7 perguntas: “What?”, “When?”, “Why?”, “Where?”, “Who?”, “How?” e “How much?”. Ao traduzir as perguntas se tornam: “O que?”, “Quando?”, “Por que?”, “Onde?”, “Quem?”, “Como?” e “Quanto custa?”.

Essa ferramenta pode ser usada quando a causa real de um problema ou situação não estiver clara, o 5W2H são maneiras de tentar resolver um problema encontrado sem uma grande investigação detalhada que requer recursos em pessoas e financeiro. Esta é uma das ferramentas de investigação mais simples, facilmente concluída sem análise estatística. Por perguntar repetidamente a pergunta, 'Por quê?' é possível remover

camadas de problemas e sintomas que podem levar à causa raiz. A maioria das explicações óbvias tem ainda mais problemas subjacentes. Mas nunca é certo que a causa raiz foi encontrada a menos que haja evidências reais para confirmá-la (SONDALINI, 2013).

O 5W2H é aplicado frequentemente em indústrias de manufatura, onde se deseja descobrir a causa raiz da falha, situação ou problema, para que as ações corretivas possam ser direcionadas de maneira mais efetiva.

3.3.2 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa simplifica processos considerados complexos dividindo-os em processos mais simples e, portanto, mais controláveis (TUBINO, 2000). Esta ferramenta é um método bastante efetivo na busca das raízes do problema (SLACK et al, 2009). O diagrama de Ishikawa, de acordo com Werkema (1995), é uma ferramenta utilizada para expor a relação existente entre o resultado de um processo, e as causas que tecnicamente possam afetar esse resultado. Esta é uma ferramenta útil para análise dos processos de forma a identificar as possíveis causas de um problema. O número de causas encontradas pode ser bastante extenso. Estas podem ser divididas em categorias ou famílias de causas denominados de 6M, são elas: máquinas, meio ambiente, medidas, materiais, métodos e mão-de-obra, conforme ilustrado no diagrama da Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa e ilustração dos 6M



Fonte: Campos (2004)

Para execução do diagrama segundo Werkema (1995), para a execução do diagrama, devem ser seguidas as seguintes etapas:

1. Definir o problema a ser estudado e o que se deseja obter;
2. Estudar e conhecer o processo envolvido através de observação, documentação e troca de ideias com pessoas envolvidas;
3. Fazer uma reunião com as pessoas envolvidas no processo e

discutir o problema, é importante incentivar todos a exporem suas ideias, fazer um *brainstorming*;

4. Após coletar todas as informações, organizá-las em: causas principais, secundárias, terciárias, eliminando informações sem importância.;

5. Montar o diagrama, e conferir com todos a representação da situação atual;

6. Marcar o que é mais importante para obter o objetivo que se pretende alcançar.

3.3.3 Diagrama de Pareto

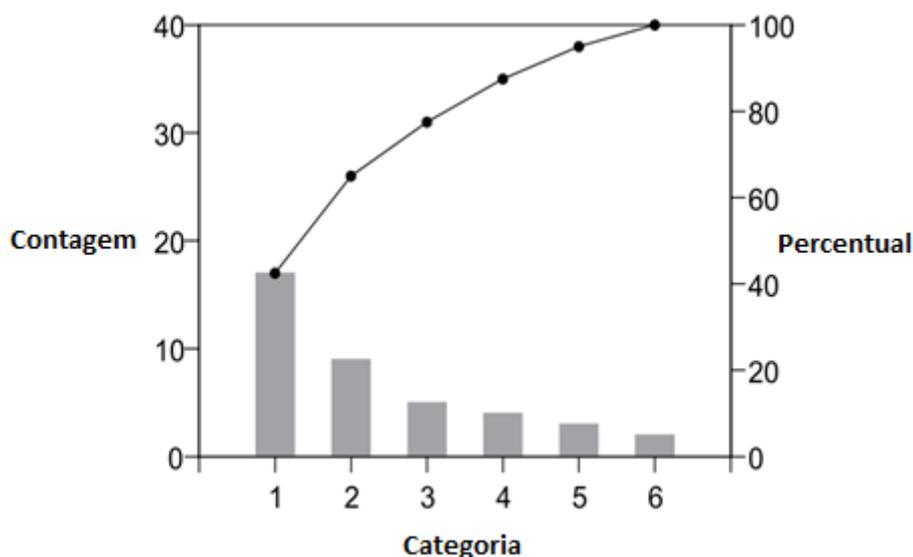
Segundo Harvey e Sotardi (2018), a Lei de Pareto que posteriormente ficou conhecida como lei do 80/20 implica que 80% do benefício vem de 20% das causas. Da mesma forma, 20% de um negócio causa 80% dos atrasos, defeitos e perda de lucros. O objetivo de qualquer negócio é focar em aumentar os 20% de clientes e atividades de negócios que geram receita e focar na redução de 20% dos negócios que causam custos desnecessários.

Para construir o diagrama é necessário coletar informações sobre a frequência ou criticidade dos problemas e classificar eles em ordem decrescente. Desta forma, duas curvas são formadas, barras que representa a distribuição cumulativa das falhas e outra curva que indica a porcentagem cumulativa dos dados.

O objetivo do diagrama é identificar os problemas que representam a maior porção dos efeitos negativos para que estes possam ser priorizados na solução. Destarte, os recursos financeiros e de pessoas podem ser direcionados de maneira mais eficiente e proporcionar resultados significativos na resolução do problema (WILKINSON, 2006).

A Figura 3 mostra um típico diagrama de Pareto onde as categorias 1, 2 e 3 apresentam os maiores números contatos e correspondem a 80% dos dados, enquanto as categorias 4, 5 e 6 correspondem somente à 20%.

Figura 3 - Diagrama de Pareto



Fonte: adaptado de Wilkinson (2006)

3.3.4 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) é uma ferramenta utilizada na gestão da qualidade em diversos setores. O uso do PDCA na indústria tem sido amplamente estudado por autores como Oakland (2003) e Ishikawa (1985).

De acordo com Oakland (2003), a utilização do ciclo PDCA na indústria permite que as empresas identifiquem e corrijam problemas nos processos produtivos de forma sistemática e contínua, contribuindo para a melhoria da qualidade e da eficiência. O autor destaca que o PDCA é especialmente útil em processos de fabricação de bens de consumo, em que a qualidade e a padronização são fatores críticos para a competitividade da empresa.

Já Ishikawa (1985) enfatiza a importância da participação dos funcionários da indústria no ciclo PDCA, por meio de equipes de melhoria contínua e da disseminação de uma cultura de qualidade na empresa. Segundo o autor, o envolvimento dos funcionários no processo de melhoria contínua é essencial para a implementação bem-

sucedida do ciclo PDCA e para a obtenção de resultados duradouros. A Figura 4 mostra o Ciclo PDCA e uma síntese da descrição de cada etapa explicitada abaixo:

1. Planejamento (Plan)

Nesta etapa ocorre a definição dos objetivos a serem alcançados e identificação dos processos e atividades a serem melhorados. Assim como a escolha dos métodos e captação de recursos, estabelecimento de metas, indicadores de desempenho;

2. Execução (Do)

A implementação dos planos e atividades definidas na etapa de planejamento, alinhada com o monitoramento das atividades realizadas deve ser feita na etapa de execução;

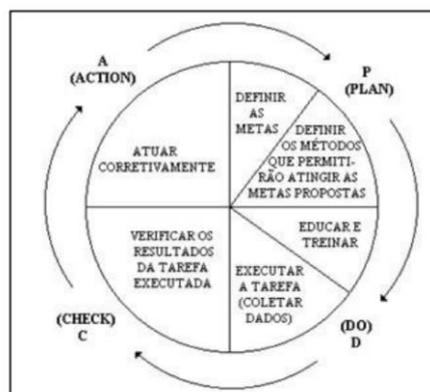
3. Verificação (Check)

Ocorre a análise dos resultados obtidos e a comparação com as metas e indicadores estabelecidos na etapa de planejamento. É feita a identificação das diferenças entre os resultados obtidos e os desejados e análise das causas das diferenças identificadas.

4. Ação (Act)

Por fim, ocorre a definição das ações corretivas e preventivas a serem tomadas para melhorar os processos e produtos. Implementação das ações definidas em conjunto com o monitoramento dos resultados obtidos após a implementação das ações. Por fim, ocorre o registro das informações relevantes para a análise dos resultados obtidos após a implementação das ações.

Figura 4 - Representação do Ciclo PDCA



Fonte: Pacheco (2010)

A execução do ciclo PDCA significa buscar continuamente efeitos de melhoria. O ciclo PDCA garante dois tipos de ações corretivas: temporária e permanente. A ação temporária visa resolver o problema na prática. A ação corretiva permanente consiste em investigar e eliminar as causas raízes, desta maneira busca a sustentabilidade do processo melhorado (PATEL et al., 2017).

3.4 Distribuição Normal

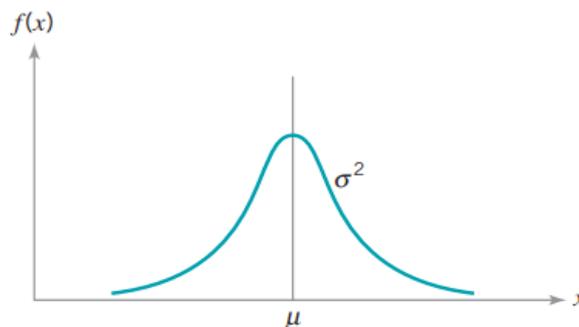
A distribuição normal é provavelmente a distribuição mais importante tanto na teoria quanto na aplicação da estatística. Se “x” é uma variável aleatória normal, então a distribuição de probabilidade de “x” é definida da seguinte maneira.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (1)$$

A média da distribuição normal μ e a variância é $\sigma^2 > 0$.

A distribuição normal mostrada pela Figura 5 é tão usada que frequentemente usa-se uma notação especial, $x \sim N(\mu, \sigma^2)$, para implicar que “x” é normalmente distribuído com μ e σ^2 . A aparência visual da distribuição normal é uma curva simétrica, unimodal ou em forma de sino. É possível mostrar que 68,26% dos valores populacionais situam-se entre os limites definidos pela média mais e menos um desvio padrão, 95,46% dos valores situam-se entre os limites definidos pela média mais e menos dois desvios-padrão e 99,73% dos valores populacionais situam-se dentro dos limites definidos pela média mais ou menos três desvios-padrão conforme representado pela Tabela 1. (MONTGOMERY, 2013).

Figura 5 - Distribuição normal de média “ μ ” e desvio variância “ σ^2 ”



Fonte: Montgomery (2013)

3.4.1 Teorema do Limite Central

A distribuição normal é frequentemente assumida como o modelo de probabilidade apropriado para uma variável aleatória, sendo o teorema do limite central uma justificativa da normalidade aproximada.

O Teorema do Limite Central diz que se x_1, x_2, \dots, x_n são variáveis aleatórias independentes com média e variância amostrais e se $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$, então a distribuição de

$$\frac{y - \sum_{i=1}^n \mu_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}} \quad (2)$$

se aproxima da distribuição $N(0, 1)$ à medida que “n” se aproxima do infinito.

O Teorema do Limite Central implica que a soma de “n” variáveis aleatórias distribuídas independentemente é aproximadamente normal, independentemente das distribuições das variáveis individuais. A aproximação melhora à medida que “n” aumenta. Em muitos casos, a aproximação será boa para “n” pequeno, enquanto em alguns casos “n” terá que ser muito grande para que a aproximação seja satisfatória. Em geral, se os “ x_i ” são distribuídos de forma idêntica, e a distribuição de cada “ x_i ” não se afasta radicalmente do normal, então o teorema do limite central funciona muito bem para 4 pontos. Essas condições são atendidas com frequência em problemas de engenharia da qualidade (MONTGOMERY, 2013).

3.4.2 Hipótese Nula

Uma hipótese estatística é uma afirmação sobre os valores dos parâmetros de uma distribuição de probabilidade. Por exemplo, suponha que o valor médio real de um conjunto de dados é “a”. Podemos expressar esta declaração de forma formal como:

$$H_0: \mu = a \quad (3)$$

$$H_1: \mu \neq a \quad (4)$$

sendo “a” um número real e “ μ ” a média do conjunto.

A afirmação na Equação 11 é chamada de hipótese nula onde $H_0: \mu = a$, e para Equação 12 é chamada de hipótese alternativa. Dependendo do problema, várias hipóteses alternativas unilaterais podem ser apropriadas. Procedimentos de teste de hipóteses são bastante úteis em muitos tipos de problemas estatísticos de controle de qualidade. Eles também formam a base matemática para a maioria das técnicas de controle estatístico de processos.

Uma parte importante de qualquer problema de teste de hipótese é determinar os valores dos parâmetros especificados nas hipóteses nulas e alternativas. Geralmente, isso é feito de três maneiras. Primeiro, os valores podem resultar de evidências ou conhecimentos passados. Isso acontece frequentemente no controle estatístico de qualidade, onde é usada informações passadas para especificar valores para um parâmetro correspondente a um estado de controle e, em seguida, é testado periodicamente a hipótese de que o valor do parâmetro não foi alterado. Em segundo lugar, os valores podem resultar de alguma teoria ou modelo do processo. Por fim, os valores escolhidos para o parâmetro podem ser resultado de especificações contratuais ou de projeto, situação que ocorre com frequência (MONTGOMERY,2013).

Procedimentos de teste de hipóteses estatísticas podem ser usados para verificar a conformidade H_1 dos parâmetros do processo com seus valores especificados, ou para auxiliar na modificação do processo até que os valores desejados sejam obtidos (MONTGOMERY,2013).

3.4.3 Teste de hipótese nula com a distribuição t de Student

Supondo que “x” seja uma variável aleatória normal com média desconhecida e variância desconhecida. A partir de uma amostra aleatória, a média amostral " $\bar{\mu}$ " e a variância amostral " s^2 " são calculadas. Então, um intervalo de confiança bilateral de 95% em torno da média verdadeira é:

$$\bar{\mu} - t_{\frac{\alpha}{2}, N-1} \frac{s}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{\mu} + t_{\frac{\alpha}{2}, N-1} \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

onde " $t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}$ " denota o ponto percentual da distribuição “t” com graus de liberdade tais que $P \{t_{N-1} \geq t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}\} = \alpha/2$.

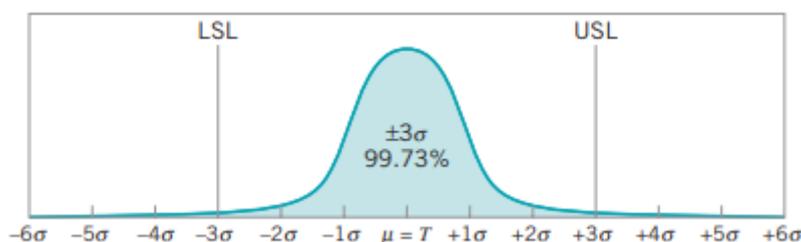
Com o aumento do número de graus de liberdade, os valores de t_{N-1} convergem, a princípio rapidamente e depois mais devagar, para os valores da distribuição normal padrão. À medida que a amostra cresce, portanto, a diferença entre as duas distribuições vai perdendo a importância (MONTGOMERY, 2013).

3.5 6 sigma

Produtos com muitos componentes normalmente têm muitas oportunidades para que falhas ou defeitos ocorram. A Motorola desenvolveu o programa 6 Sigma no final da década de 1980, o foco da metodologia sigma é reduzir a variabilidade nas principais características de qualidade do produto ao nível em que falhas ou defeitos se tornam extremamente improváveis. A Figura 6 mostra uma distribuição de probabilidade normal como um modelo para uma característica de qualidade com os limites de especificação LSL (Limite Especificado Inferior) e USL (Limite Especificado Superior) em três desvios padrão em cada lado da média (MONTGOMERY, 2013).

A Tabela 1 relaciona os níveis do desvio padrão com a porcentagem dos dados que estará entre os níveis especificados e o número de peças por milhão com defeito que é esperado obter.

Figura 6 - Distribuição normal entre os limites de controle



Fonte: Montgomery (2013)

Tabela 1 - Níveis do desvio padrão e PPM esperado em 95% de confiança

Limite de especificação	Porcentagem de medidas dentro dos limites	PPM fora dos limites
$\pm 1\sigma$	68,27	317300
$\pm 2\sigma$	95,45	45500
$\pm 3\sigma$	99,73	2700
$\pm 4\sigma$	99,9937	63
$\pm 5\sigma$	99,999943	0,57
$\pm 6\sigma$	99,9999998	0,002

Fonte: adaptado de Pande, Neuman e Cavanagh (2000)

No entanto, nenhum processo ou sistema é verdadeiramente estável e, mesmo na melhor das situações ocorrem distúrbios. Essas perturbações podem resultar no desvio da média do processo, um aumento no desvio padrão ou ambos. O conceito de um processo Seis Sigma é uma maneira de modelar esse comportamento. Como todos os modelos, provavelmente não está exatamente certo, mas provou para ser uma maneira útil de pensar sobre o desempenho do processo. A Motorola estabeleceu o seis sigma como um objetivo para a corporação e como um foco para os esforços de melhoria da qualidade do processo e do produto (MONGOMERY,2013).

Algumas das empresas estabelecem limite de especificação igual a 6 Sigma como o padrão mínimo de qualidade para seus próprios processos e também para os seus fornecedores. Para atender a essa exigência, é preciso manter o processo perfeitamente centrado no valor nominal de especificação, e operando com um desvio padrão não superior a 1/12 da faixa de tolerância em 95% de confiança. Nessa situação, somente dois valores por bilhão cairão fora dos limites de tolerância (BREYFOGLE, 1999).

3.5.1 Capabilidade de processo

A capacidade permite quantificar o quão bem um processo pode entregar um produto aceitável, isto é, dentro de suas especificações dimensionais e comportamento físico-químico. Como resultado, é possível priorizar as melhorias de processo necessárias e identificar os pontos que estão operando de forma satisfatória. Os estudos de capacidade do processo indicam se um processo é capaz de produzir praticamente todos os produtos conformes (MONTGOMERY, 2013).

Depois que um estudo de capacidade do processo foi realizado, um processo será classificado como capaz ou incapaz. Quando o processo não é capaz de produzir praticamente todos os produtos conformes, o processo é considerado incapaz e os procedimentos de amostragem de aceitação (ou inspeção 100%) devem permanecer como parte do procedimento para entregar qualidade.

A Equação 6 define a taxa de capacidade do processo C_p através da comparação da tolerância especificada com a variação potencial:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{\text{variação permitida dentro das especificações}}{\text{variação esperada no processo}} \quad (6)$$

Para caracterizar a localização do processo é utilizado o indicador C_{pk} descrito

pelas equações 7,8 e 9, que avalia a distância da média do processo com a especificação mais próxima dela, da seguinte forma:

$$C_{pu} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (7)$$

$$C_{pl} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma} \quad (8)$$

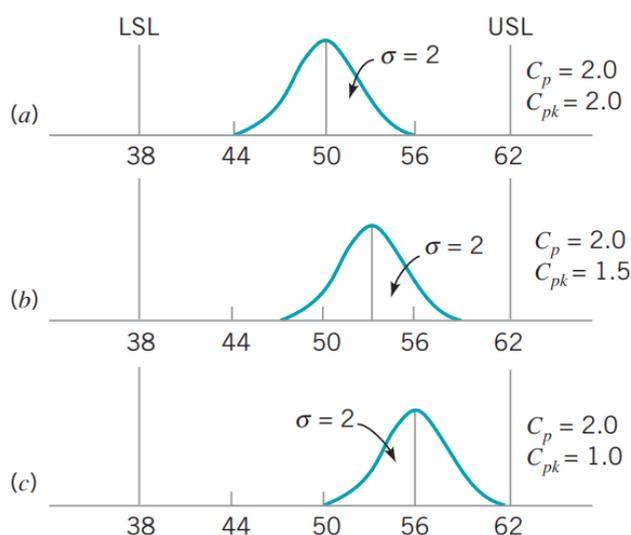
$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (9)$$

Quando o processo opera centralizado na nominal (alvo da especificação), os dois índices (Cp e Cpk) terão o mesmo valor ou valores muito próximos. À medida que a média do processo se desvia da nominal, o Cpk vai ficando menor que o Cp.

A interpretação dos valores do Cp e Cpk depende de o processo estar sob ou fora de controle estatístico:

Se o processo está sob controle, o Cp e o Cpk representam a capacidade real do processo como se comportou no passado e o que se espera que continue a fazer no futuro. Se o processo é imprevisível ou fora de controle o Cp e Cpk não são representativos. A Figura 7 mostra a relação entre os indicadores Cp e Cpk assim como a distribuição normal dentro dos limites especificados.

Figura 7 - Relação entre Cp e Cpk



Fonte: Montgomery (2013)

A taxa de capacidade do processo Cp não leva em consideração onde a média do processo está localizada em relação a especificação. O parâmetro Cp mede a dispersão das especificações em relação a distancia de Seis Sigma do processo. As três

distribuições normais mostradas na Figura 7 têm $C_p = 2,0$, mas o processo indicado no gráfico (b) da Figura 7 tem capacidade inferior do que o processo indicado no gráfico (a) porque não está operando no ponto médio do intervalo das especificações.

3.5.2 Carta de Controle

Uma carta de controle é uma das principais técnicas de controle estatístico de processo (CEP). Este gráfico traça as médias das medições de uma característica de qualidade em amostras retiradas do processo versus tempo (ou o número da amostra). O gráfico tem uma linha central (CL) e limites de controle superior e inferior (UCL e LCL na Fig. 8). A linha central representa onde essa característica do processo deve cair se não houver fontes incomuns de variabilidade presentes. Os limites de controle, tais como os da Figura 6, são determinados a partir de algumas considerações estatísticas simples onde:

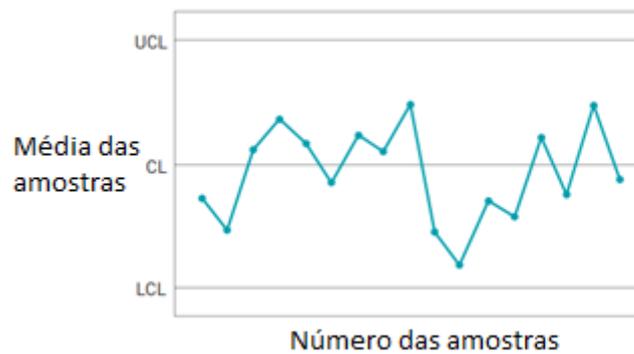
$$UCL = \mu_w + L\sigma_w \quad (10)$$

$$LCL = \mu_w - L\sigma_w \quad (11)$$

Sendo " μ_w " o valor em que o processo deve atingir, "L" a distância em unidades de desvio padrão em que se deseja controlar o processo e " σ_w " o desvio padrão.

Esses limites de controle são escolhidos de forma que, se o processo estiver sob controle, quase todos os pontos de amostragem ficarão entre eles. Enquanto os pontos estiverem dentro dos limites de controle, o processo é considerado sob controle e nenhuma ação é necessária. No entanto, um ponto fora dos limites de controle é interpretado como evidência de que o processo está fora de controle, e investigação e ação corretiva são necessárias para encontrar e eliminar a causa ou causas atribuíveis responsáveis por esse comportamento (BREYFOGLE, 1999). A Figura 8 mostra uma típica carta de controle com seus limites controlados e o valor médio.

Figura 8 - Típica carta de controle

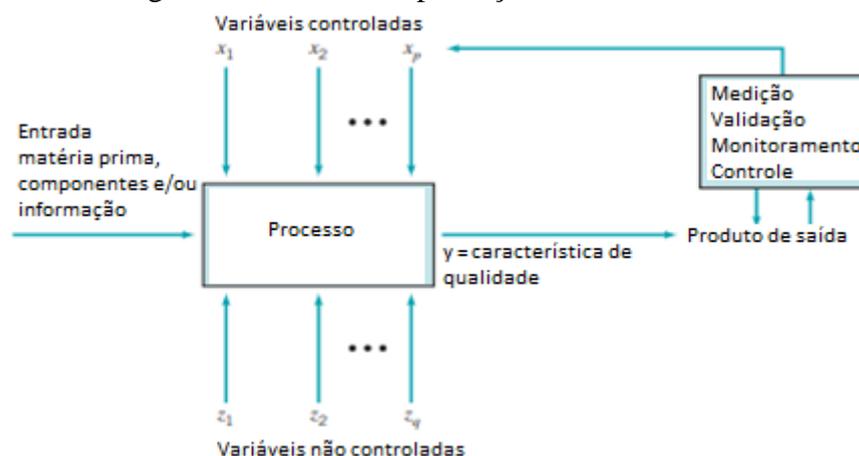


Fonte: adaptado de Montgomery (2013)

O gráfico de controle é uma técnica de monitoramento de processo muito útil; quando fontes incomuns de variabilidade estão presentes, as médias das amostras serão plotadas fora dos limites de controle. Este é um sinal de que alguma investigação do processo deve ser feita e uma ação corretiva para remover essas fontes incomuns de variabilidade deve ser tomada. O uso sistemático de um gráfico de controle é uma excelente maneira de reduzir a variabilidade (MONTGOMERY,2013).

A Figura 9 traz um fluxograma sobre como o controle de processos acontece, onde as entradas são os materiais, componentes, informação, variáveis controladas e não controladas. A saída é a característica de qualidade que será medida, avaliada, monitorada e controlada e por fim essas informações voltam às variáveis controladas a fim de refinar o processo e melhorar a qualidade da característica inspecionada.

Figura 9 - Processo de produção: entradas e saídas



Fonte: adaptado de Montgomery (2013)

4 METODOLOGIA

Este trabalho ocorreu em uma empresa de manufatura no seguimento de eletrodomésticos localizada no Brasil, no estado de São Paulo e seus produtos são voltados tanto para o mercado interno quanto para o externo, seus produtos são consumidos em todo território nacional e também exportados para o mercado consumidor da América Latina. Na empresa ocorrem vários processos diretos e indiretos para garantir a produção de eletrodomésticos, dentre estes a moldagem por injeção plastica de uma peça de lavadora conhecida como fundo do cesto que foi o alvo de estudo deste trabalho. A Figura 10 retrata a unidade de lavagem que é onde o fundo do cesto é aplicado, ele é a peça branca que garante a sustentação do conjunto

Figura 10 - Unidade de lavagem



Fonte: Loja Colormaq (2023)

Em um primeiro momento, para entender quais eram problemas de qualidade relacionados a esta peça, foram coletados dados de avaliação visual durante 15 dias de operação, totalizando 103 peças, para construção do diagrama de Pareto. A finalidade foi entender quais os principais problemas relacionados à ao fundo do cesto para que os esforços fossem direcionados de forma efetiva.

Em seguida, também durante 15 dias de operação, foram coletados 193 dados do diâmetro externo da peça que é a característica de qualidade mais importante uma vez que ela determina se a peça irá montar ou não. O diâmetro de uma única peça é medido 6 vezes com o auxílio de um paquímetro digital. As 6 medidas são necessárias para o cálculo da média do diâmetro da peça devido à presença de irregularidades na circunferência e também para cálculo da ovalização da peça. Estes dados foram utilizados para construção das cartas de controle e avaliação de Cp e Cpk.

O valor especificado do diâmetro é de 459,000 mm e a tolerância é de $\pm 0,5$ mm, ou seja, entre 458,500 mm e 459,500 mm o valor é considerado aceitável.

Em paralelo, a ferramenta 5W2H foi aplicada para obtenção das informações de causa raiz do problema e em qual etapa da produção o problema ocorreu. Seguidamente, foi montado o diagrama de Ishikawa com todas as fontes de variação relacionadas aos 6M para que pudesse ser avaliado o impacto de cada componente na variação dimensional da peça injetada.

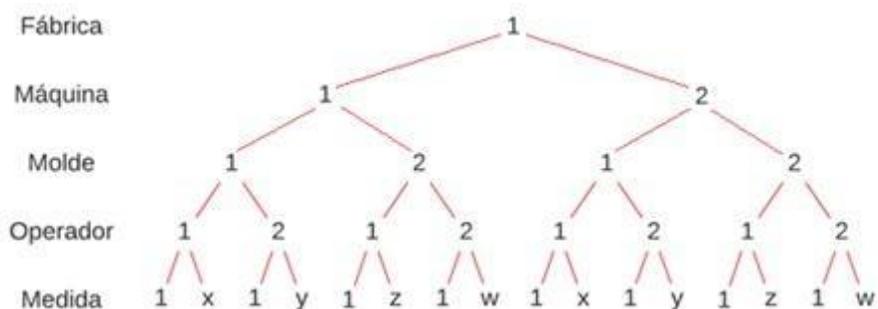
Posteriormente, foi implementado o Ciclo PDCA a fim de padronizar a forma de medição e compor uma solução sistêmica capaz de reduzir variações em busca da melhoria contínua.

Após a aplicação das ferramentas e construção das cartas de controle, foram coletados 500 novos dados de diâmetro da peça a fim de avaliar a efetividade das ações implementadas através da construção de novas cartas de controle e cálculos de novos valores de C_p e C_{pk} .

Desta forma, a fim de verificar se o conjunto dos dados coletados antes e depois das melhorias contemplam o valor nominal de 459 mm, foi calculado o intervalo de confiança para média considerando 95% de confiança para ambos bancos de dados utilizando a distribuição t de Student. Se o valor nominal estivesse dentro do intervalo de confiança, a hipótese nula poderia ser aceita e caso não estivesse, a hipótese nula seria rejeitada.

Os dados foram coletados conforme representação da árvore de amostragem da Figura 11, é importante observar que as peças possuem 2 máquinas e 2 moldes que podem ser usados para injetar as peças. Além disso, 2 operadores foram responsáveis por realizar as medições.

Figura 11 - Árvore de amostragem da coleta de dados



Fonte: do autor (2023)

O processo de injeção plástica possui uma particularidade que durante os primeiros minutos de operação, o processo é pouco previsível. Nesta fase, o aquecimento da máquina ainda não aconteceu por completo e as cavidades ainda não foram completamente preenchidas pelos pellets de polipropileno, além do mais, ao longo da operação o ar é expulso do parafuso pelo material plástico e a máquina opera em regime permanente.

O fundo do cesto é uma peça de polipropileno utilizada em lavadoras e é responsável por garantir a sustentação da Unidade de Lavagem, desta forma ela é uma peça robusta e precisa ter seu dimensional verificado e controlado devidamente, pois falhas no fundo do cesto geram problemas em todo conjunto de lavagem, tais problemas são vibração, ruídos e vazamentos de água, defeitos estes que não podem se propagar para o consumidor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Melhoria da coleta de dados

Para que a coleta dos dados ocorresse de maneira eficiente, foi necessária implementação de uma melhoria através de um formulário do Google para a entrada dos dados. Antes de ser implementado, os dados eram coletados via caderno de controle e depois repassados internamente para várias equipes da empresa que monitoram esses dados. Desta maneira, era comum haver atrasos, perda de dados e erros de digitação, porque cada responsável por determinado setor deveria digitar todos os dados a fim de manter o banco de dados atualizado.

O formulário permitiu que todos tivessem acesso ao banco de dados e pudessem acompanhar em tempo real todos o lançamento das informações e também acompanhar os indicadores Cp e Cpk ao longo da operação, o que permitiu a identificação de desvios, causas especiais e comuns de maneira mais rápida, direcionando os esforços de forma efetiva.

5.2 Construção do Diagrama de Pareto

O processo de injeção plástica é uma operação que trabalha com grandes volumes. Foram coletados 103 dados para construção do diagrama de Pareto, a fim de avaliar com mais exatidão a Regra do 80/20 na moldagem por injeção plástica, foi adicionado ao trabalho um banco de dados de um processo de injeção de PVC, que é similar ao processo em estudo, contendo 800 mil peças.

Desta forma é possível verificar o comportamento do Pareto com mais precisão e avaliar se as 103 amostras coletadas apresentam um comportamento parecido com a amostra maior e validar a regra do 80/20.

A Tabela 2 mostra os principais defeitos que ocorrem durante a fabricação de um solado de sapato de PVC em uma máquina de moldagem por injeção. Os mais comuns são defeitos de Overflow, Peso abaixo da especificação e variação de peso, que somados representam 79,25% das ocorrências e 23,07% dos defeitos, o que comprova a regra 80/20 do diagrama de Pareto.

Tabela 2 - Principais falhas de um processo de injeção de PVC

Falha	Número total de peças com defeitos	Cumulativo de peças com defeito	Cumulativo em percentual
1 Overflow	271130	271130	31,16%
2 Massa abaixo da especificação	226200	497330	57,16%
3 Variação de peso	192130	689460	79,25%
4 Inchaço	29320	718780	82,62%
5 Empenamento	24810	743590	85,47%
6 Peça quebradiça	22110	765700	88,01%
7 Presença de pontos pretos	20660	786360	90,39%
8 Formação de bolhas na peça	18850	805210	92,55%
9 Peça grudada no molde	16670	821880	94,47%
10 Marca de afundamento	16300	838180	96,34%
11 Arranhado	13770	851950	97,93%
12 Encolhimento	11920	863870	99,30%
13 Outros defeitos	6130	870000	100,00%
Total	870000		

Fonte: Dejene et al. (2021)

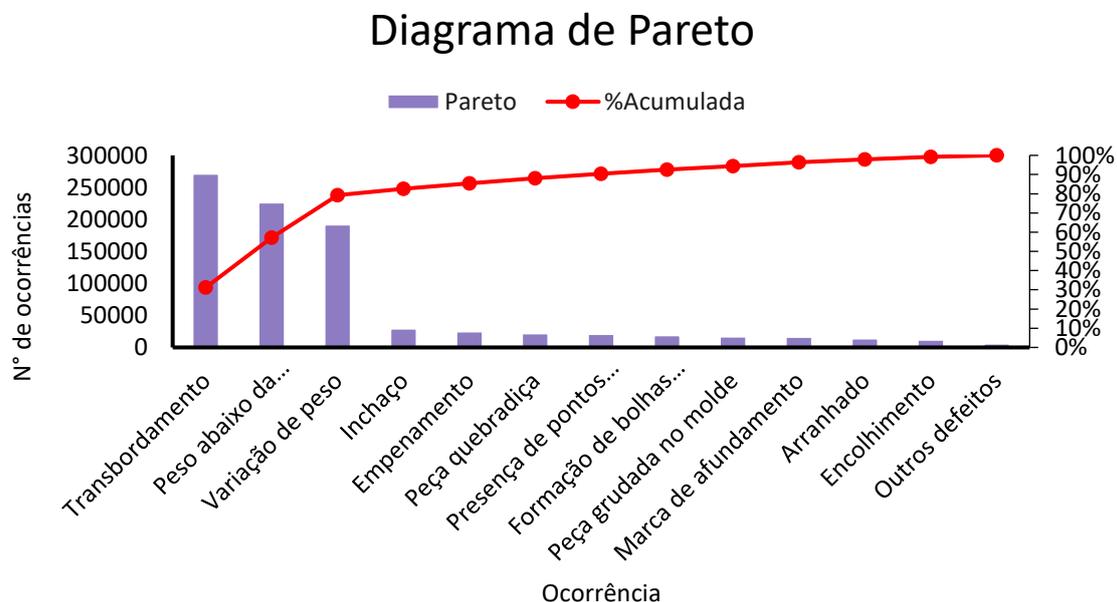
Os problemas mais comuns são: *overflow* (transbordamento), massa abaixo da especificada e variação de peso. Em um processo de moldagem por injeção, estes são defeitos que reprovam a peça pois comprometem o seu funcionamento, uma vez que uma peça desbalanceada não pode ser usada para montagem de um conjunto.

Os defeitos de inchaço, encolhimento, marca de afundamento e empenamento, estão associados à conformação final da peça, quando ela deixa o molde e começa a resfriar, as condições de armazenamento e temperatura ambiente influenciam no processo de cura da peça, que é quando o material polimérico está se conformando e as tensões na estrutura do polímero aumentam. Em casos de mau armazenamento ou choque térmico, as tensões podem ser distribuídas de maneira heterogênea pela peça o que ocasiona em deformações, empenamento e concavidades na superfície.

O princípio de Pareto foi capaz de identificar falhas que são frequentes por considerar indiretamente que as demais falhas estão associadas à causas comuns. Entretanto, o diagrama não consegue mostrar os efeitos de cada falha no resultado final dos produtos. Portanto, foi necessário associar o diagrama a outras ferramentas de controle de qualidade que sejam capaz de avaliar os efeitos que cada falha pode causar no produto final e com isso estabelecer planos de controle que monitorem as variações

determinadas pelos modos de falha e estabeleçam ações corretivas. O Gráfico 1 traz a Tabela 2 em forma de gráfico para ilustrar a regra do 80/20.

Gráfico 1 – Diagrama de Pareto para injeção de PVC



Fonte: adaptado de Dejene et al. (2021)

O diagrama de Pareto foi utilizado no processo de injeção de polipropileno a partir da avaliação visual da peça de características que não podem ser controladas pela carta de controle, uma vez que a resposta para esses defeitos será sempre discreta do tipo “Existe” ou “Não Existe”. Contudo, a avaliação visual é de igual importância da avaliação das respostas que são contínuas porque a avaliação visual é rápida e basta um breve treinamento para capacitar uma pessoa para realizar esse tipo de procedimento, o que é diferente de uma avaliação por cartas avaliadas através de ferramentas estatísticas, uma vez que a pessoa responsável deve ser preparada.

A Tabela 3 mostra o resultado da coleta dos dados obtidos através da avaliação visual de 103 peças de onde 76,70% das ocorrências estão associadas a 33,33% das falhas, o que se encontra um pouco distante do diagrama de Pareto provavelmente pelo grupo amostral ser pequeno para este processo, entretanto já fornece boas conclusões sobre onde direcionar os esforços. Neste caso, os tipos de falhas relacionados a bolhas, são causados pela condição do molde, este deverá ser reparado pela ferramentaria.

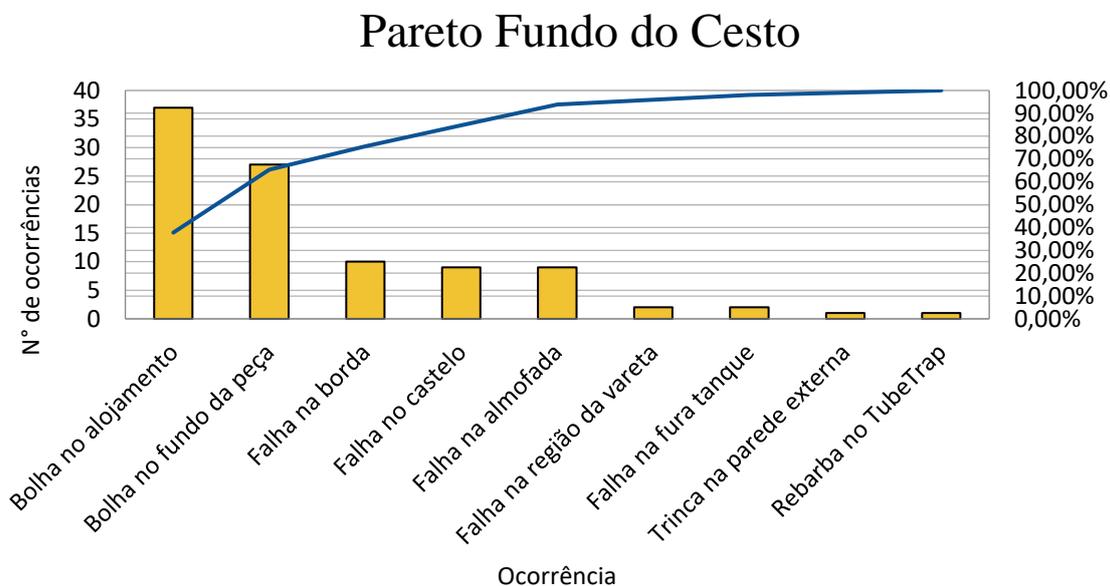
Tabela 3 - Principais falhas de um processo de injeção de PP

Modo de falha	Número de ocorrências	% Relativa	% Acumulada
1 Bolha no alojamento	37	35,92%	35,92%
2 Bolha no fundo da peça	32	31,07%	66,99%
3 Falha na borda	10	9,71%	76,70%
4 Falha no castelo	9	8,74%	85,44%
5 Falha na almofada	9	8,74%	94,17%
6 Falha na região da vareta	2	1,94%	96,12%
7 Falha na fura cesto	2	1,94%	98,06%
8 Trinca na parede externa	1	0,97%	99,03%
9 Rebarba no TubeTrap	1	0,97%	100,00%
Total	103		

Fonte: do autor (2023)

O Gráfico 2 retrata a Tabela 3 na forma de gráfico, onde é possível notar que para um conjunto de dados com 103 peças, o comportamento é parecido com um conjunto com 800 mil peças e ambos se aproximam do comportamento esperado para um Pareto.

Gráfico 2 – Diagrama de Pareto para injeção de PP



Fonte: do autor (2023)

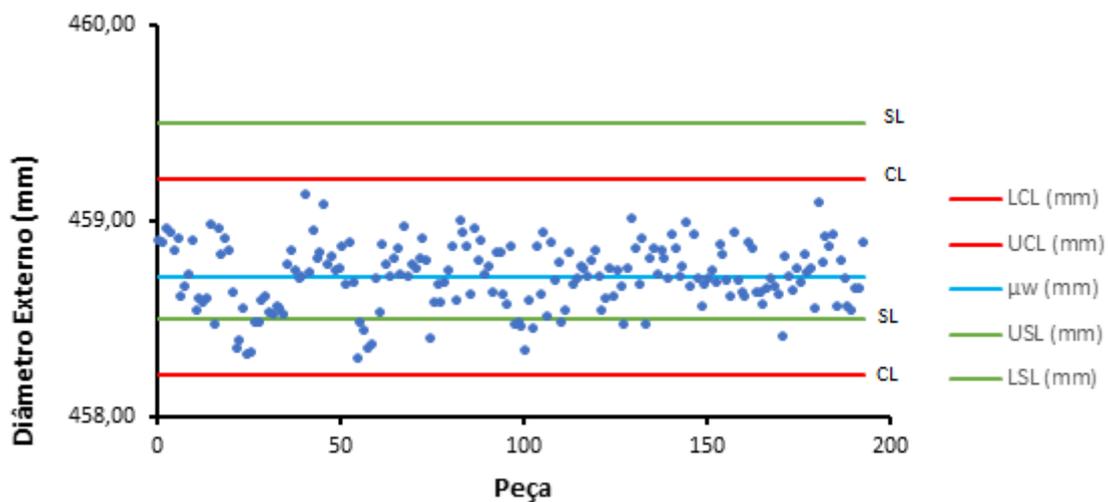
O uso de cartas de controle juntamente ao diagrama de Pareto apresentou-se

como boa associação entre ferramentas de qualidade para o controle do processo. Pareto fornece um bom direcionamento sobre quais modos de falha as ações devem ser direcionadas e as cartas de controle fornecem um indicativo da efetividade dessas ações.

5.3 Avaliação do Diâmetro Externo

Para o diâmetro externo, a carta de controle obtida está mostrada abaixo, a linha em azul equivale ao valor dimensional que o desenho estipula, as linhas verdes são os valores da cota mais ou menos o valor da tolerância especificada em desenho (SL) e as linhas em vermelho são os limites de controle (CL) aplicando o SixSigma. Os valores denominados LCL e UCL, quando estão entre os valores especificados por desenho, indicam um bom ajuste de processo. Neste caso, é possível notar que UCL está menor que USL e LCL é menor do que LSL, o que indica que o processo está deslocado para a tolerância mínima do desenho, inclusive algumas peças foram produzidas com diâmetro fora da especificação.

Gráfico 3 – Carta de Controle Individual para Diâmetro Externo



Fonte: do autor (2023)

A carta de controle Individual mostra o conjunto de dados atrelado aos limites de especificação e limites de desenho. Para o controle do Diâmetro Externo todos os pontos estão entre os dois limites estabelecidos, além disso o processo se distribui em torno da média amostral, o que indica que está ajustado e entregando peças com qualidade. Para tornar o controle do processo robusto, é necessário controlar as variáveis que influenciam nas respostas de interesse do sistema, neste caso a resposta a

ser controlada é o diâmetro externo.

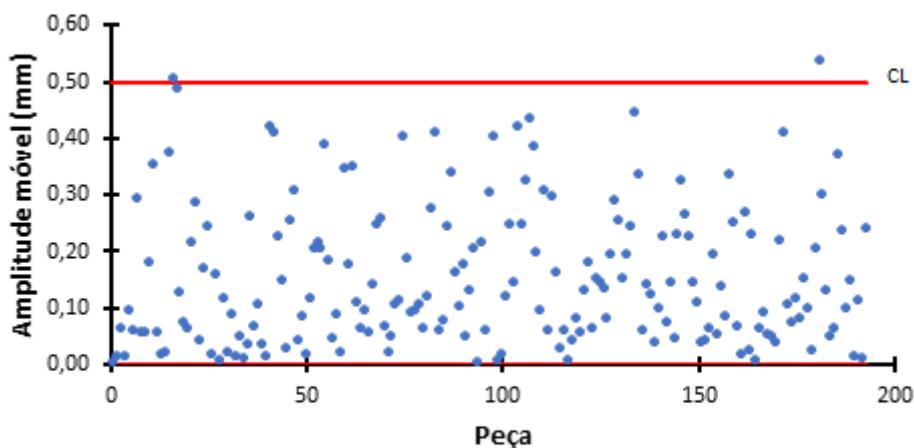
Tabela 4 - Capacidade de processo para o Diâmetro Externo

μ_w (mm)	σ_w (mm)	UCL (mm)	LCL (mm)	Cpu	Cpl	Cpk	Cp
458,710	0,167	459,212	458,208	1,574	0,418	0,418	0,996

Fonte: do autor (2023)

Partindo para análise de capacidade do processo, o valor de Cpk é menor do que 1, o que indica que o processo opera deslocado da distribuição normal ao redor do valor especificado. A capacidade potencial do processo, isto é, o valor de Cp é 0,996, o que indica que o processo pode ser ajustado para o modelo Seis Sigma e que os dados de fato representam a capacidade do processo.

Gráfico 4 – Carta Amplitude Móvel para Diâmetro Externo (MR)



Fonte: do autor (2023)

Partindo para análise da carta de Amplitude Móvel, ela leva em conta a variação do diâmetro em módulo entre peças adjacentes, ou seja, o valor atual menos o anterior fornece o valor absoluto da amplitude móvel. Esta carta é capaz de quantificar as variações entre peças do processo. No caso estudado, a grande maioria dos pontos se encontra dentro da variação prevista pelos limites de controle, porém 2 pontos saem destes limites. Esses dois pontos são causados por causas especiais, que são eventos que não estão associados ao processo ou a variações aleatórias. Essas causas aconteceram por alguma falha pontual que impactou somente naquela medida, logo é importante descobrir o que houve de fato para evitar variações previsíveis no processo. De qualquer forma, estes dois pontos impactaram pouco no aspecto geral do processo contabilizado por Cp e Cpk.

5.4 Identificação do problema através do 5W2H

As respostas para os respectivos questionamentos foram uma maneira simples de identificar vários fatores que a priori parecem ser as causas raízes e limitar a solução de problemas em potenciais causas reais dos modos de falha apresentados.

- What? (O que?): dimensional da cota controlada de ovalização fora de especificação.
- Why? (Por que?): o dimensional fora da especificação impossibilita a montagem do conjunto.
- Who? (Quem?): peça de polipropileno chamada de fundo do cesto.
- Where? (Onde?): ao realizar a montagem do conjunto da unidade de lavagem a peça foi reprovada.
- When? (Quando?): foi constatada que a falha ocorreu durante o processo de injeção.
- How? (Como?): a peça estava com ovalização acima da permitida e a presença de rebarbas, desta forma não foi possível realizar a montagem.
- How much? (Quanto custa?): o foco do trabalho é na aplicação de ferramentas de baixo custo, desta forma a solução deve ter custo não significativo para empresa.

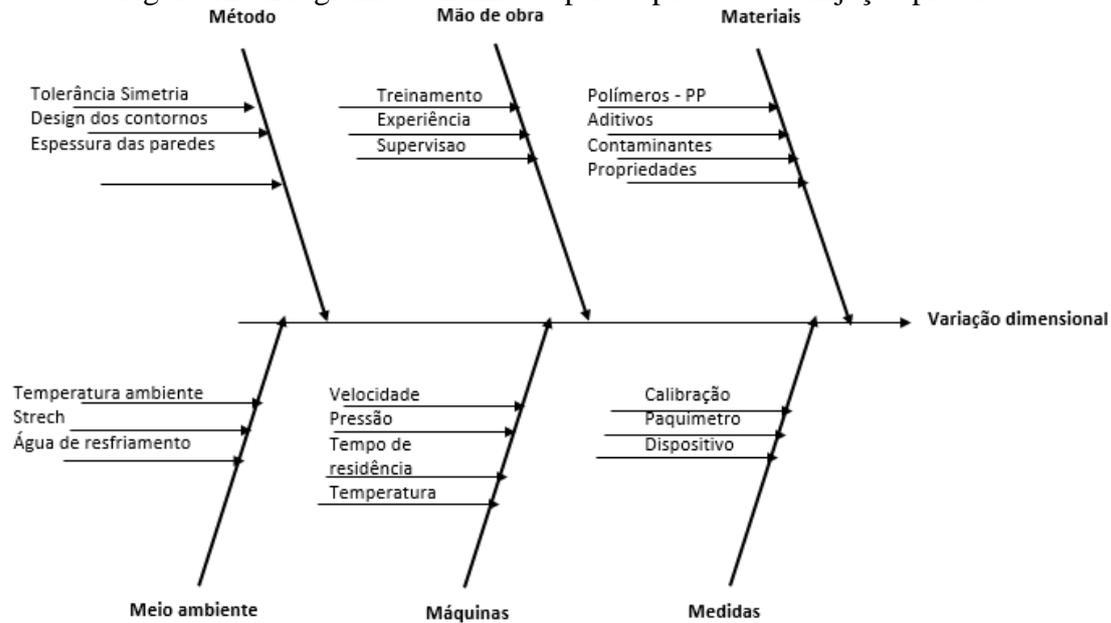
Contudo, é possível concluir que a peça não foi contida no plano de inspeção e foi levada adiante para manufatura, destarte, como a peça apresentou ovalização fora do especificado a montagem dela no conjunto não foi possível. A ovalização está inteiramente relacionada com o diâmetro da peça uma vez que ela é calculada a partir da diferença entre o maior e o menor diâmetro medido.

Esta ferramenta implica que é necessário aumento da frequência de inspeção e também que o controle estatístico foi muito importante para realizar previsões de peças que também estarão com cotas fora de especificação.

5.5 Fatores que influenciam na variação dimensional

Após o desenvolvimento deste estudo e a busca por causas, obteve-se os resultados para Diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama de Ishikawa para o processo de injeção plástica



Fonte: do autor (2023)

De acordo com as categorias listadas no diagrama acima, no “M” de Máquina, a temperatura, pressão, tempo de residência e velocidade de injeção afetam a conformação do material no molde e conseqüentemente sua variação dimensional. Os parâmetros de processo podem ser ajustados para contornar problemas de bolhas e rebarbas. O tempo de ciclo da máquina, limpeza e manutenção adequada também afetam a eficiência do processo.

A configuração do molde, incluindo o número de cavidades, o desenho do molde e o tipo de canal de injeção podem afetar a qualidade do produto. O tempo de injeção é determinado pelo molde, para peças muito grandes o tempo de injeção é maior. Esse aspecto é fundamental no resfriamento da peça no interior do molde, pois peças muito grandes necessitam que mais calor seja retirado delas.

Portanto as peças que são liberadas com temperatura maior que a ideal estão mais propícias a sofrerem empenamento, que é gerado pelo gradiente de temperatura no interior da peça que responsável pela causa de tensões internas e conformações em forma de rechupe ou abaulamento.

O tipo de material utilizado no processo pode afetar a qualidade do produto final, bem como a estabilidade dimensional e às propriedades físico-químicas como módulo de elasticidade e resistência a tração. A granulometria do material que entra na parte de Matéria-Prima também é de grande importância, pois um material com

diâmetro de partícula alto retarda o escoamento dentro da máquina e propicia a formação de bolhas na peça final.

Para os métodos, o design de como foi projetada a peça interfere diretamente no processo e no formato do molde. Peças com disparidade de dimensões estão sujeitas a rebarbas geradas no fio de fechamento da peça. A conformação do plástico pode não ocorrer de forma uniforme pelo design do produto e gerar falhas na injeção devido ao escoamento no interior não ser uniforme, isto é, zonas mortas no interior do molde onde o fluido não foi capaz de chegar por falha de design na peça. A tolerância e espessura também são muito importantes para uma injeção de qualidade, pois nenhuma cota será atingida completamente durante um ciclo de operação, e o tamanho da tolerância torna mais fácil ou mais difícil manter o processo ajustado e entregando peças boas.

A qualificação e treinamento adequado da equipe de produção é essencial para garantir a qualidade do produto. Além disso, a experiência e a conhecimento técnico do processista, que ajusta a máquina de injeção para operar em diferentes condições de molde, peça e tempo de operação são fatores fundamentais para o sucesso da operação.

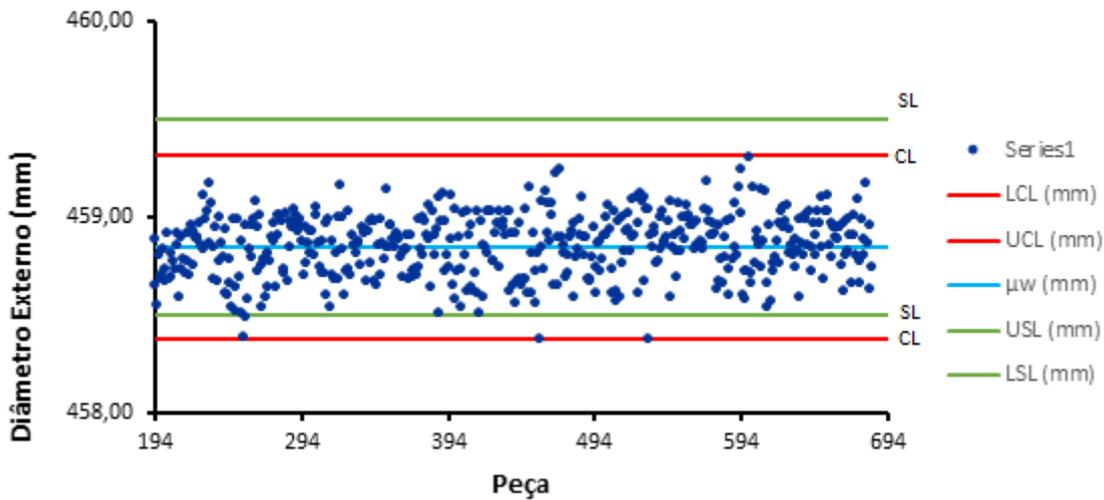
A temperatura e a umidade do ambiente onde o processo é realizado afetam os colaboradores que trabalham na operação, porque o ambiente fica mais quente e úmido, pois parte da água que é utilizada para resfriar o molde é evaporada. Desta forma é necessário o uso de ventiladores adequados para manter as condições de trabalho mais amenas. Contudo, a matéria-prima é granular, logo, no processo de alimentação da máquina os grãos mais finos escapam do *bag* ou das juntas das mangueiras e contribuem ainda mais para aumentar a insalubridade do ambiente de trabalho.

Ao analisar cada categoria e as causas raízes listadas no diagrama de Ishikawa, foi possível identificar áreas específicas do processo de injeção plástica que precisam de atenção e melhorias para aumentar a eficiência e qualidade do processo, conforme observado na Figura 12.

5.6 Diâmetro externo: após as implementações

Após a aplicação das ferramentas de qualidade apresentadas a fim de identificar e mitigar as fontes de variação, o processo teve um aumento da média tendendo para o valor da nominal porque foram reduzidos os pontos que estavam fora da especificação e como o processo operava perto da mínima os pontos que estavam fora dos limites consequentemente eram pontos abaixo do valor aceitável

Gráfico 5 – Carta de Controle Individual para Diâmetro Externo após as implementações



Fonte: do autor (2023)

O valor do desvio padrão diminuiu cerca de 6%, o que acarretou em deslocamento da média do processo para mais próximo da nominal de 459,000 mm que pode ser quantificado pelo aumento de Cpk de 77,92%. Entretanto o Cpk continua baixo e requer melhoria, o aumento do Cpk está relacionado ao deslocamento do processo.

Entretanto, mesmo após a padronização da operação, os limites de controle permanecem fora dos limites especificados, uma justificativa plausível para isso acontecer está no fato do molde operar fora do seu tempo de vida útil, o que acarreta no desgaste de componentes internos que impactam na conformação da peça em seu interior e consequentemente no tamanho do diâmetro. O que contribui para aumento de variação de dispersão dos limites de controle em relação aos limites especificados.

Tabela 5 - Capacidade de processo para o Diâmetro Externo após as implementações

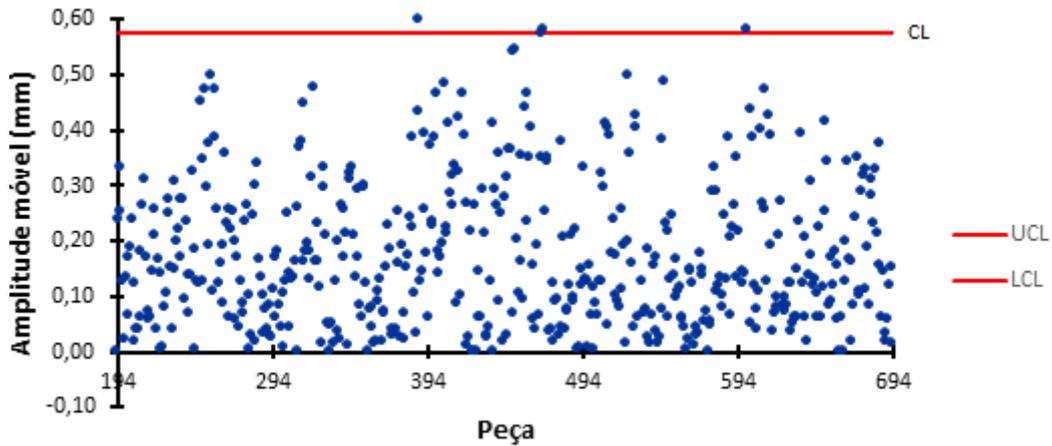
μ_w (mm)	σ_w (mm)	UCL (mm)	LCL (mm)	Cpu	Cpl	Cpk	Cp
458,851	0,157	459,322	458,379	1,377	0,743	0,743	1,060

Fonte: do autor (2023)

O aumento de Cpl está associado ao aumento de LCL, pois ao analisar a carta é possível notar que antes das implementações o processo estava deslocado com relação a nominal e operando perto dos limites especificados e de controle mínimos. O aumento de LCL refletiu em uma variação de 12,56% em Cpl, o que indica que o processo passou a operar mais próximo do valor nominal do que anteriormente, o que acarretou

em uma mudança de C_{pk} que representa o limite de controle com maior distância em relação ao valor nominal do processo.

Gráfico 6 – Carta Amplitude Móvel para Diâmetro Externo (MR) após as implemetações



Fonte: do autor (2023)

Com relação à carta MR, 4 pontos ficaram fora dos limites de controle, o que implica que o processo ainda não pode ser considerado 6 sigma. Apesar do aumento da capacidade do processo, este ainda apresenta muita variação e variáveis que podem ser consideradas como perturbação no sistema. Um exemplo é com relação à dilatação da peça, para um dia mais frio a temperatura esfria mais rápido e para um dia mais quente a peça gasta mais tempo para atingir a temperatura ambiente, essa analogia também pode ser feita em turnos do dia que são mais quentes e turnos da noite que são mais frio, a temperatura da peça influencia diretamente na medida do diâmetro pela dilatação, o que contribui para acrescentar variação de medidas entre peças no conjunto dos dados.

5.7 Intervalo de confiança para a média do diâmetro a partir de uma distribuição t de Student

A aplicação do teste t de Student teve como objetivo verificar os valores do diâmetro externo da peça, que foram tomados nos bancos de dados antes e após as melhorias.

Foi observado que os dois bancos de dados antes e após as melhorias, formam uma distribuição normal entorno do valor nominal de 459,000 mm que é o valor especificado para esta cota.

Aplicando a Equação 12 para o primeiro banco de dados considerando 95% de confiança onde $\mu_w = 458,710$ mm ; $\sigma_w = 0,167$ mm ; $N = 193$ e $t_0 = 1,973$ é encontrado o intervalo mostrado abaixo:

$$458,686 \text{ mm} < \mu < 458,733 \text{ mm}$$

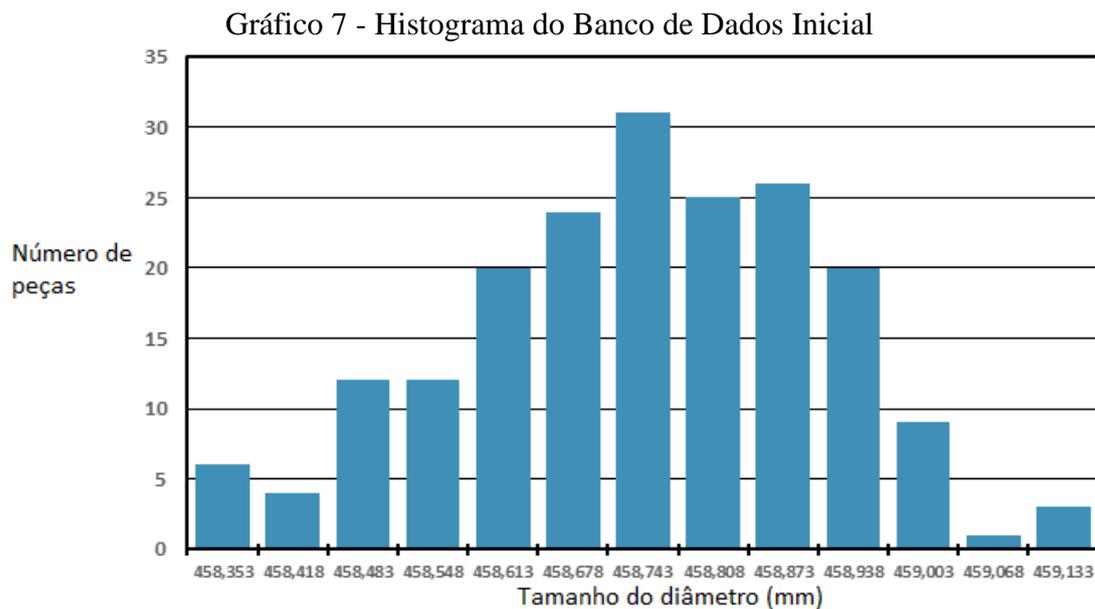
No caso do banco de dados após as melhorias implementadas, considerando 95% de confiança e onde $\mu_w = 458,851$ mm ; $\sigma_w = 0,157$ mm; $N = 501$ e $t_0 = 1,960$ o intervalo encontrado foi de:

$$458,837 \text{ mm} < \mu < 458,864 \text{ mm}$$

Como ambos intervalos de confiança não contemplam o valor de referência 459,000 mm, é possível afirmar com 95% de confiança que 459,000 mm não é o valor verdadeiro da média das medições realizadas, desta forma a hipótese nula pode ser rejeitada. Desta maneira, existem fontes de variação que impactam na aleatoriedade das amostras, os dados podem ser aleatórios, porém não estão entorno de 459,000 mm.

Entretanto, para dizer se o processo está operando na faixa recomendada é possível utilizar o valor de média encontrado em cada banco de dados e somar 3 desvios padrões e subtrair 3 desvios padrões e verificar de pelo menos 99,73% dos valores do diâmetro estão dentro das tolerâncias especificadas conforme é mostrado pela Tabela 1 (Relação entre limite de especificação e número de peças), isto é, entre 458,500 mm e 459,500 mm.

Contudo, o processo não está ajustado conforme o valor nominal o que indica que pela distribuição t de Student e também pela relação 6 Sigma o processo opera abaixo do valor nominal, essa discussão será abordada com mais profundidade após a apresentação das ferramentas que foram utilizadas e a construção das cartas de controle assim como seus indicadores.

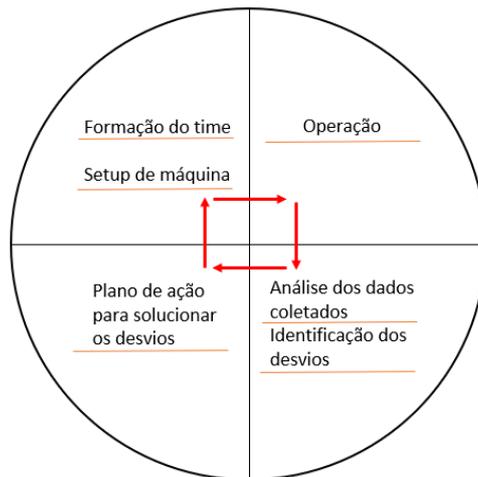


Fonte: do autor (2023)

5.8 Melhoria contínua

Na etapa de planejamento, o objetivo foi determinar a equipe responsável pela operação, o que inclui pessoal responsável pela configuração da máquina, molde, parâmetros críticos de processo e a matéria-prima a ser injetada; auditores de qualidade que farão a verificação dimensional das peças e profissionais de manutenção que possam ser acionados caso ocorra algum problema mecânico durante a operação. No fim da etapa de planejamento, foi obtido um POP (Procedimento Operacional Padrão) que seja válido em todos os casos que determinada peça for fabricada. A Figura 13 mostra o Ciclo PDCA que foi desenvolvido para este processo a fim de padronizar as operações que são realizadas a cada ciclo.

Figura 13 - Ciclo PDCA para o processo de injeção plástica



Fonte: do autor (2023)

Na Execução, o objetivo foi realizar a operação conforme estabelecido no POP. É importante seguir as instruções e monitorar as variáveis críticas do processo, assim como realizar as medições necessárias para garantir que o processo esteja ajustado de acordo com o esperado.

A verificação é a fase na qual os dados de medições coletados serão tratados e analisados através das ferramentas de qualidade, como 6sigma e estudo de capacidade de processo. Esta etapa possui como principal função identificar desvios que estão ocorrendo durante a operação.

Por fim a fase de Ação, o objetivo foi implementar as ações corretivas identificadas na fase de verificação para melhorar continuamente o processo. Se faz importante monitorar novamente as variáveis críticas do processo e realizar as medições necessárias para garantir que as ações corretivas tenham sido efetivas e que o processo esteja funcionando de acordo com o esperado.

6 CONCLUSÃO

A partir da determinação do intervalo de confiança para o diâmetro externo da peça seguindo uma distribuição t de Student para 192 e 499 graus de liberdade, foi estatisticamente comprovado que os processos antes e após as melhorias feitas rejeitaram a hipótese nula, isto é, a média real dos dados não é 495,000 mm o que comprova que o processo está deslocado em relação à nominal. Além do mais, pela extensa quantidade de dados coletados foi estatisticamente comprovado que os dados se aproximam de uma distribuição normal.

O controle estatístico do processo também pode ser considerado um ganho, visto que os indicadores puderam ser acessados facilmente e divulgados a fim de gerar mais transparência e identificar pontos que precisam de melhoria de maneira mais efetiva.

O valor de Cpk do diâmetro aumentou 78% após as melhorias implementadas, uma vez que erros relacionados a operadores e medição puderam ser reduzidos. Levando em consideração o custo e tempo de implementação das ferramentas este resultado pode ser considerado expressivo pois as soluções foram baratas e de fácil aplicação.

Além disso, o processo pode ser classificado como 3 Sigma e possui Cp igual a 1, o que implica que o número de peças com defeito a cada milhão de peças produzidas é de 2700.

Contudo, para de fato melhorar o processo e alcançar Cp e Cpk igual a 2 e elevar o processo para o estágio de 6 Sigma, é necessário investimento no molde, em manutenções ou na aquisição de um molde novo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000/2000 - Sistema de Gestão da Qualidade: Fundamentos e Vocabulário**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Relatório Anual 2023**. ABIPLAST, 2023. Disponível em: < https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/04/Preview2022_web.pdf . Acesso em: 10 jul. 2022.

BHOTE, K. R. **Qualidade de classe mundial**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

BREYFOGLE, F. W. **Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods**. New York: Wiley, 1999.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento pelas Diretrizes**. Minas Gerais; INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

CROSBY, P. B. **Quality is Free: The Art of Making Quality Certain**. New York: McGraw-Hill, 1979.

DEJENE, Naol, Gopal, Mahesh. **The Hybrid Pareto Chart and FMEA methodology to Reduce Various Defects in Injection Molding Process**. 64. 3541-3555. 2021

FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**, Third Edition, Pittsfield, Massachussets. 1990

Hardy, M. Pareto's Law. **The Mathematical Intelligencer**, Vol. 32(3), pp. 38-43. 2010

HARVEY, H. Benjamin; SOTARDI, Susan T. **The Pareto Principle**. A, [s. l.], 12 jun. 2018.

ISHIKAWA, Kaoru. **What is total quality control? The Japanese way**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1985. 215 p.

JURAN, J. M.; GRYZENIA, J. **Juran's Quality Handbook**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

LONGO, Rose. **Gestão da Qualidade: Evolução Histórica, Conceitos Básicos e Aplicação na Educação**. [S. l.: s. n.], 1996.

LUCINDA, Marco Antônio. **Análise e Melhoria de Processos - Uma Abordagem Prática para Micro e Pequenas Empresas**. Simplíssimo Livros Ltda, f. 66, 2016. 106 p.

MENGES; MICHAELI ;MOHREN; **How to Make Injection Molds**; Third Edition; Hanser; Cincinnati, USA; 2001

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 7th ed. John Wiley & Sons, 2013. 736 p.

OAKLAND, J. S. **Oakland on Quality Management**. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003.

OHNO, Taiichi. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Bookman, 1988.

PACHECO, Ana Paula Reusing. **O ciclo pdca na gestão do conhecimento: uma abordagem sistêmica**, 2010.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **The Six Sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance**. New York: McGraw-Hill, 2000. 422 p.

PATEL, PRATIK, DESHPANDE, VIVEK. Application Of Plan-Do-Check-Act Cycle For Quality And Productivity Improvement - A Review. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**. 5. 197-201. 2017.

SHAH, R.; WARD, P. T.; WISE, A. **Applying lean in healthcare: a collection of international case studies**. Productivity Press, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da Produção; **Revisão técnica Henrique Corrêia, Irineu Giaresi**. São Paulo: Atlas, 2009.

SONDALINI, Mike. **Understanding How to Use The 5-Whys for Root Cause Analysis**. Oakland Unified School District, 2017.

SVEČKO, R.; KUSIĆ, D.; KEK, T.; SARJAŠ, A.; HANČIČ, A.; GRUM, J. **Acoustic Emission Detection of Macro-Cracks on Engraving Tool Steel Inserts during the Injection Molding Cycle Using PZT Sensors**. Sensors 2013, 13, 6365-6379.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

WHEELER, Donald; CHAMBERS, David. **Understanding Statistical Process Control**. [S. l.], 2010.

WILKINSON, Leland. Revising the Pareto Chart. **The American Statistician**, [S. l.], p. 332-334, 2006.