

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO PEDRO PARZIANELLO MARTINELLO

**REDUÇÃO DE SUCATA EM EMPRESA FORNECEDORA DE AUTOPEÇAS
UTILIZANDO A METODOLOGIA SEIS SIGMA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2020

JOÃO PEDRO PARZIANELLO MARTINELLO

**REDUÇÃO DE SUCATA EM EMPRESA FORNECEDORA DE AUTOPEÇAS
UTILIZANDO A METODOLOGIA SEIS SIGMA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Gilson Adamczuk Oliveira

PATO BRANCO

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redução de sucata em empresa fornecedora de autopeças utilizando a metodologia seis sigma

João Pedro Parzianello Martinello

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 17/11/2020 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin
(UTFPR – Departamento de Elétrica)

Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira
(UTFPR – Departamento de Engenharia Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, sem a qual nada teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Gilson Adamczuk Oliveira por aceitar esse desafio. Também sou grato ao time de projeto por todo o conhecimento trocado no decorrer do trabalho e aos amigos e família pelo suporte dado durante essa caminhada até aqui.

EPÍGRAFE

Those who walk alone may even get faster, but the one who goes accompanied definitely goes further. (LISPECTOR, Clarice).

Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe. (LISPECTOR, Clarice).

RESUMO

MARTINELLO, João Pedro. Redução de sucata em empresa fornecedora de autopeças utilizando a metodologia seis sigma. 2020. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O estudo tem como objetivo a aplicação da metodologia Seis Sigma para a redução de sucata do defeito 'sede excêntrica' recorrente na válvula V-5991, visando uma redução de custo, visto que para se manter competitivo no mercado é necessário que a produção trabalhe em sintonia com a qualidade, evitando também que produtos defeituosos cheguem ao cliente final. Para isso, é também importante o auxílio de ferramentas contidas na metodologia Seis Sigma, identificando e eliminando causas geradoras do defeito. Foi realizado o estudo do processo, levantando causas potenciais, além de uma ampla coleta de dados para então, identificar a causa ou os pontos de anomalias pelas ferramentas disponíveis. Os resultados da aplicação desta metodologia apontaram que o equipamento de contenção de defeitos (*Poka-Yoke*) nomeado como Accus, estava em desacordo com a instrução de processo, acarretando uma aprovação de peças com valores acima da tolerância especificada. Além disso, outra característica vinda do processo de solda por fricção não estava sendo controlada, gerando o defeito nos processos de usinagem. Devido à análise dos dados foi possível definir uma nova tolerância de 0,15 mm para o *Poka-Yoke* e juntamente com a confecção de peças padrões para setup, sanou o problema de aprovação de peças ruins. Também foi alterado as dimensões do desenho da ferramenta *Stripper* na qual passou de 6,30 para 5,90 mm evitando então a produção de peças com diâmetro do *flash* acima do especificado. Por fim, foi possível concluir que o objetivo foi atingido, ultrapassando a redução de sucata *desejada* em 29%, ou seja, de 1,89% para 1,16% ao ano. Afirmando assim, a eficácia das ferramentas e a condução da metodologia Seis Sigma.

Palavras-chave: Seis Sigma. Válvula. Sucata. *Poka-Yoke*.

ABSTRACT

MARTINELLO, João Pedro. Scrap reduction in an auto parts supplier using the six-sigma methodology. 2020. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

The following study aims to apply the Six Sigma methodology to reduce scrap from the Eccentric Seat defect in the V-5991 valve, focusing on a cost reduction. To remain competitive in the market is necessary that production is in line with quality, also preventing defective products from reaching the end customer. Thus, it is necessary for the aid of tools contained in the Six Sigma methodology, identifying and eliminating causes that generate the defect. It is essential to study the process, raising potential causes and a comprehensive collection of data to identify the cause or points of anomalies by the tools available. The results of the application of this methodology showed that the defect containment equipment (Poka-Yoke) was at odds with the process instruction, resulting in approval of parts with values above the limit tolerance. Besides, another feature coming from the friction welding process was not being controlled, causing the defect in the machining processes. Data analysis made it possible to define a new tolerance of 0.15 mm for the Poka-Yoke and, together with a configuration of parts standards for configuration, solved the problem of approval of ruined parts. The dimensions of the drawing of the Stripper tool were also changed, from 6.30 to 5.90 mm, thus avoiding the production of parts with a flash diameter above the specified. Finally, it was possible to conclude that goal was achieved, exceeding the desirable scrap reduction by 29%, that is, from 1.89% to 1.16% per year. Thus, affirming the effectiveness of the tools and the conduct of the Six Sigma methodology.

Keywords: Six Sigma. Valve. Scrap. Poka-Yoke.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Melhoria da qualidade do produto reduzindo a variação do processo do processo.....	17
Figura 2: Diferença nas curvas de distribuição normal para cada nível sigma	18
Figura 3: Fases da metodologia DMAIC	19
Figura 4: Exemplo de carta de controle para processo controlado	21
Figura 5: Exemplo de carta de controle para processo fora de controle estatístico ..	22
Figura 6: Os 7 desperdícios do Lean Manufacturing	24
Figura 7: Tipos de válvulas e suas funções	26
Figura 8: Nomenclatura das principais partes de uma válvula	27
Figura 9: Fluxograma 1 do processo de fabricação forjaria	28
Figura 10: Fluxograma 2 do processo de produção das linhas	29
Figura 11: Disposição da válvula nos rolos do processo de endireitamento.	30
Figura 12: Visual da válvula após endireitamento	31
Figura 13: Posicionamento dos rolamentos para leitura da sede na Accus.	32
Figura 14: Posicionamento do laser na sede da válvula.	32
Figura 15: Disposição das ferramentas para o processo de retífica da haste	33
Figura 16: Ilustração do processo de retífica da haste grosseira.	33
Figura 17: Visual da válvula após operação 15G.....	34
Figura 18: Características usinadas na HSG	35
Figura 19: Processo de retífica de perfil.....	35
Figura 20: Visual da válvula após HSG.....	36
Figura 21: Visual da válvula após 25.....	37
Figura 22: Vista superior da válvula V-5991 com o defeito 'excentricidade da sede'	39
Figura 23: Condução do estudo de caso.....	39
Figura 24: Pareto top 10 custos de sucata da forjaria	41
Figura 25: Proporção de sucata no decorrer do ano de 2019	42
Figura 26: Diagrama de Ishikawa com as principais suspeitas de causa raiz	43
Figura 27: Mapa de processo defeito de Sede Excêntrica V-5991.....	44
Figura 28: Fluxograma 3, possíveis processos geradores do defeito de Excentricidade da Sede	46
Figura 29: Instrumento de medição relógio comparador centesimal	47
Figura 30: Dispositivo regulado para medição do Alinhamento da Solda	48

Figura 31: Medição do Diâmetro do Flash	49
Figura 32: Disposição dos roletes conforme FIP	50
Figura 33: Detalhe do posicionamento do relógio comparador	50
Figura 34: Disposição dos roletes conforme Accus.....	51
Figura 35: Detalhe do posicionamento no enchimento	52
Figura 36: Medição do Alinhamento da Haste.....	52
Figura 37: Gráfico boxplot para a característica Batimento da Sede	54
Figura 38: Teste de hipótese 2-Sample Z	55
Figura 39: Comparação das medidas entre FIP e ACCUS	56
Figura 40: Alteração do método de controle na folha de instrução de processo.....	57
Figura 41: Definição da nova tolerância para o Poka-Yoke	58
Figura 42: Análise batimento da sede em relação ao alinhamento da solda	59
Figura 43: Análise da variação do Batimento da Sede com peças dentro das tolerâncias	60
Figura 44: Variação do Batimento da Sede para peças com Diâmetro do Flash maiores	61
Figura 45: Padrões e auxílio visual para setup da máquina	62
Figura 46: Antes e depois da melhoria realizada na ferramenta Stripper.....	63
Figura 47: Comparação da proporção de sucata x produzido.....	65

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Análise de valor	AV
Análise de variância	ANOVA
<i>Critical to quality</i>	CTQ
Defeitos por milhão de oportunidades	DPMO
Desdobramento da função qualidade análise de valor	QFD
<i>Failure mode and effect analysis</i>	FMEA
Folha de instrução de processo	FIP
<i>Single Minute Exchange of Die</i>	SMED
<i>Toyota production system</i>	TPS
<i>Value stream map</i>	VSM

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo Principal	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONCEITOS E FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE	17
2.1.1 Seis Sigma	17
2.1.1.1 Ferramentas da qualidade.....	21
2.1.2 <i>Lean Manufacturing</i>	23
2.1.2.1 Os Sete Desperdícios.....	24
2.1.2.2 Ferramentas <i>Lean Manufacturing</i>	24
2.2 VÁLVULAS PARA MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.....	25
FONTE: TRW, 2011	27
2.2.1 Processo de fabricação	27
3 METODOLOGIA	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA EMPRESA (UNIDADE DE ANÁLISE)	38
3.2 REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ETAPA 'DEFINIR'.....	41
4.2 PLANO DE COLETA DE DADOS	45
4.2.1 Métodos de medição das características	46
4.3 TESTE PILOTO.....	53
4.4 ETAPA 'MEDIR'	55
4.5 ETAPA 'ANALISAR'	56
4.6 ETAPA 'MELHORAR'	61

4.7 ETAPA 'CONTROLAR'.....	64
5 CONCLUSÕES	65

1 INTRODUÇÃO

Em meio a uma realidade de extrema competitividade no mercado no qual tem como base a produtividade, sabe-se que a relação entre produção e defeito é crucial para que uma empresa se mantenha saudável, garantindo a fabricação de seu produto atrelado com a qualidade especificada. É por isso que visar a redução de falhas é de extrema importância, pois além de gerar uma redução nos custos de produção, também leva a uma maior satisfação para o cliente.

Essa necessidade decorre a mais de 50 anos e para isso, foi indispensável que as organizações da época de 70 obtivessem maneiras de alcançar a excelência operacional. Um dos exemplos mais conhecidos é de uma fábrica da Motorola que produzia televisores nos Estados Unidos e que em 1970, um grupo de japoneses assumiu o controle, mudando o método de operação. Isso foi possível graças a metodologia Seis Sigma que segundo (Natarajan; Shanmuganathan, 2011) é metodologia mais popular e que tem como objetivo, a detecção da origem e a eliminação do defeito. Sigma, σ , é uma letra do alfabeto grego utilizada por estatísticos e tem como objetivo de representar a variação em processo (PYZDEK; KELLER, 2011)

Este trabalho foi realizado numa filial produtora de válvulas de admissão e escape de combustível para motores de combustão interna que não pode ser citada. A unidade de estudo está localizada no estado de São Paulo onde acontece o recebimento e o processamento da matéria prima, até a expedição do produto final para diversas montadoras ao redor do mundo e para o mercado nacional de reposição.

Durante o acompanhamento dos indicadores de qualidade na produção de válvulas na empresa, notou-se a necessidade de redução do custo de sucata de um modo de falha ocorrido com frequência em uma determinada válvula, na qual se destacou como sendo um dos principais custos de sucata entres os anos de 2019 e início de 2020. Devido ao fato do principal objetivo nesse caso ser a redução de custos, foi montado um time de desenvolvimento para esse projeto, composto por um facilitador, um líder, engenheiro e auditor da qualidade e operadores, todos com o objetivo de reduzir a sucata proveniente de um modo de falha ocorrido em uma das válvulas produzidas, possibilitando expandir as melhorias para os demais produtos nos quais ocorressem o mesmo defeito.

1.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal, reduzir a variabilidade do processo com conseqüente identificação e eliminação de fontes de falha, reduzindo o percentual de sucata pelo produzido. Nesse estudo será aplicada a metodologia Seis Sigma, confirmando como essa metodologia pode ser eficiente, proporcionando vantagem competitiva à organização em que é realizada. Esse defeito ocorre com frequência e é encontrado nos processos de acabamento final do produto, agregando um valor alto na peça defeituosa.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Objetivo 1: Indicar quais ferramentas seis sigma é mais apropriadas para identificação de falhas.
- Objetivo 2: Estabelecer parâmetros para identificar as fontes de falhas;
- Objetivo 3: Implantar as ferramentas do seis sigma e acompanhar o resultado;
- Objetivo 4: Propor indicadores de resultado e acompanhar a evolução.

1.2 JUSTIFICATIVA

O real significado da palavra qualidade, na qual é definida como uma conformidade de acordo com os requisitos internos, pouco diz respeito com o *Six Sigma*. Ajudar a empresa a maximizar seus lucros é o principal intuito (PYZDEK, 2003). Chegar ao nível Seis Sigma consiste em ter um processo produtivo com um alto aproveitamento de produção, reduzindo o desperdício e controlando o processo dentro das especificações desejadas, podendo então, direcionar as economias geradas por essas perdas, para outras finalidades priorizadas pelo responsável da empresa.

Para atingir o objetivo, melhorias serão necessárias. Muitas das vezes não apenas melhorias relacionadas a máquinas ou equipamentos com tecnologia de ponta, mas também melhorias nos hábitos dos funcionários, desde gestores até operadores. Hábitos que podem ser difíceis de mudar devido a cultura da empresa, necessitando muitas vezes de ferramentas de gestão de pessoas nas quais levam um determinado tempo para haver um desenvolvimento eficaz.

Ao término desse projeto foi possível observar a causa raiz do modo de falha ocorrido, as melhorias propostas e concretizadas. Além disso, será executável em outras linhas de produção para diferentes modelos de válvulas ou até mesmo para outras plantas da empresa e por fim, será viável analisar os indicadores reduzidos devido as melhorias realizadas. O ganho financeiro não será disponibilizado nesse trabalho devido a limitações impostas pela empresa na qual o trabalho foi realizado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em cinco capítulos, onde são apresentadas metodologias que juntamente com ferramentas visam a redução de variabilidade de processo e desperdícios. É introduzido o tema no qual o projeto será aplicado, mostrando a utilização e descrevendo as características do produto final. Também contém a estruturação na qual o trabalho foi realizado, especificando dados que tanto servem para justificar a definição do tema, quanto para provar o resultado alcançado no fim do projeto.

Posteriormente será mostrado as melhorias que foram realizadas para que obter essa redução de variação e os métodos de controle para que esse defeito não volte a ocorrer. Sem mais nem menos importante, será divulgado o percentual de sucata pelo produzido alcançado graças a essas melhorias, mostrando a quão importante e necessária se faz a realização de projetos utilizando essa metodologia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS E FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

A seguir são apresentados alguns conceitos essenciais aplicados ao desenvolvimento do trabalho em campo e análise dos dados obtidos.

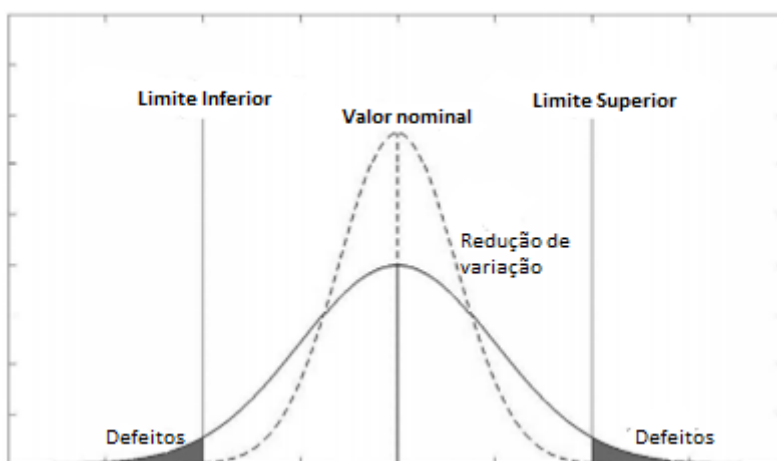
2.1.1 Seis Sigma

Mikel Harry, presidente e CEO da *Six Sigma Academy* determina o conceito do Six Sigma como um procedimento no qual possibilita empresas expandir suas métricas financeiras, projetando e monitorando atividades diárias com intuito de minimizar desperdícios ao mesmo tempo em que satisfaz o cliente final (LC TANG, 2006).

Em um processo de produção em massa, existe uma variação em cada unidade produzida, contudo, uma tolerância é estabelecida pelo cliente ou até mesmo pela própria empresa produtora. Quando há uma variação excedente a tolerância estabelecida, o produto pode se tornar um defeito (ZHAN, W.; DING, X, 2016).

Essa variação decorrente dos processos produtivos é alvo da aplicação da metodologia Seis Sigma, portanto, um processo Seis Sigma é aquele que produz 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). A Figura 1 representa a melhoria da qualidade do processo, devido à redução na variabilidade do processo, aumentando a probabilidade de obter-se peças dentro dos limites especificados.

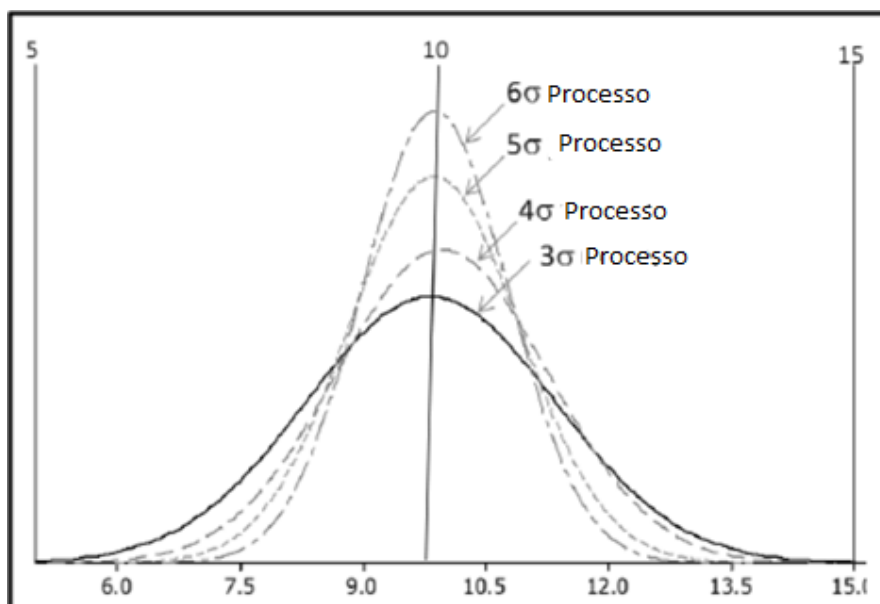
Figura 1: Melhoria da qualidade do produto reduzindo a variação do processo.



Fonte: Adaptado de Zhan, Ding (2016)

Um processo *Six Sigma* produz menos defeitos do que um processo 3, 4 ou 5 Sigma, logo, quanto maior o Sigma, mais saídas do processo, produtos e serviços, atendem aos requisitos do cliente. Portanto o desafio dessa metodologia é utilizar um conjunto de ferramentas de gestão e qualidade por meio de um procedimento sistemático para assim, alcançar indicadores e métricas ideais para o devido processo (KADRY, S, 2018). Na figura 2 é possível observar como se comporta a curva de distribuição de cada nível sigma, com isso se tem que quanto maior o nível sigma, os valores do processo ficam mais distantes das linhas de limites inferior e superior, diminuindo a chance de obter peças defeituosas.

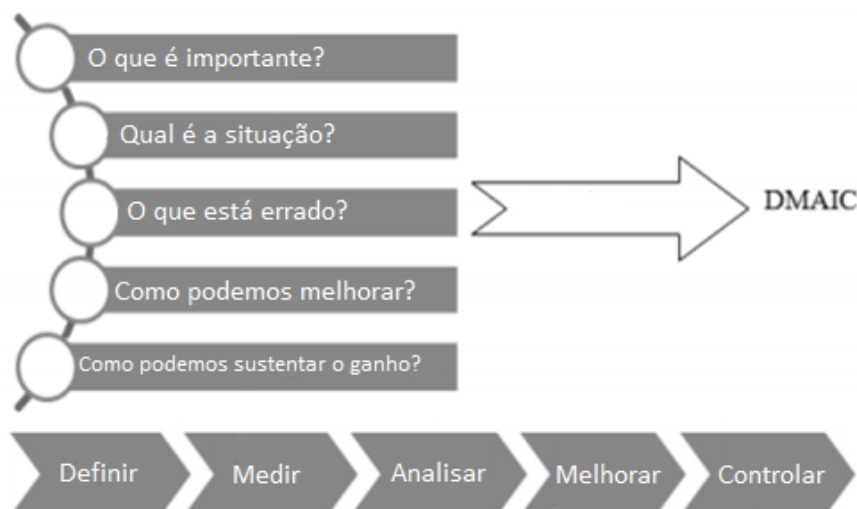
Figura 3: Diferença nas curvas de distribuição normal para cada nível sigma



Fonte: Adaptado de Kadry, S (2018)

Para isso, utiliza-se uma ferramenta de identificação, análise e solução de problemas. Essa ferramenta, conhecida como DMAIC, se dá pelo cumprimento de etapas, na qual é um acrônimo para definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*), Controlar (*Control*). Inúmeras ferramentas são utilizadas para auxiliar nessa metodologia que quando aliadas as fases do DMAIC, formam um método sistemático e robusto para que com análises estatísticas atinjam os resultados buscados pelas empresas. A figura 3 ilustra o ciclo do DMAIC.

Figura 6: Fases da metodologia DMAIC



Fonte: Adaptado de Kadry, S (2018)

A seguir essas fases serão apresentadas em detalhes.

- Definir (*Define*): A fase inicial do projeto tem como objetivo, como o próprio nome já diz, definir o projeto que será realizado. A metodologia pode ser aplicada em diferentes setores, como por exemplo, administrativo, vendas, prestação de serviço, manufatura e entre outros. Independentemente da área em que será executado, essa etapa, visa prioritariamente, satisfazer as exigências do cliente. Contudo para projetos internos, o foco se volta para a redução de custo, com isso, é dado prioridade para produtos ou serviços nos quais os valores de sucata, retrabalho, defeito, etc. sejam mais relevantes para empresa. Segundo (EVANGELISTA et al., 2019), ferramentas sugeridas para essa fase são: fluxograma, mapa de processo, lista de verificação, indicadores de desempenho, fator crítico (*critical to quality* – CTQ), desdobramento da função qualidade (QFD), análise de valor (AV). Além disso, para auxílio na definição do problema, ferramentas como: Pareto, estratificação, diagrama de Ishikawa, matriz de causa e efeito, SIPOC, FMEA, etc. também podem ser utilizados, ficando a critério do líder de projeto.
- Medir (*Measure*): Após definido o projeto a ser realizado, dá-se início a fase medir. Segundo (LC TANG, 2006), essa etapa serve tanto

para validar quando para redefinir o problema, também é nela que se inicia a busca pela causa raiz do problema. Pelas medidas do processo é possível observar o foco e a extensão do projeto, sendo essencial para reduzir as possíveis causas do problema. Basicamente é criada uma estrutura para avaliar o estado atual e acompanhar as melhorias subsequentes. As ferramentas disponibilizadas para essa fase são: Histograma, capacidade do processo (CP, CPK), diagrama de Pareto, gráfico de boxplot, sistema de medição e validação do sistema de medição.

- *Analisar (Analyze)*: O propósito dessa etapa da metodologia DMAIC é fornecer ao time de desenvolvimento, ferramentas e técnicas para extrair informações dos dados coletados durante a fase medir com intuito de identificar as possíveis causas (entradas) que estão gerando as variações indesejadas do processo (saídas) (KADRY, S, 2018). Ainda segundo Kadry (2018), as ferramentas utilizadas nessa fase são: *Run Chart*, Carta de Controle, Diagrama de Causa e Efeito, ferramentas estatísticas como, testes de hipótese, efeitos causados pelas entradas do processo, Análise de Variância (Anova), etc. Com isso é possível obter entregas como, fonte de estudo de variação, causas raiz validada, declaração do problema, potenciais soluções etc.

- *Melhorar (Improve)*: Definida a causa raiz do problema, dá-se início a avaliação e seleção das implementações de melhoria para atingir o objetivo deliberado na fase definir (MARTINELLI, 2009). Também se faz necessário uma mudança no gerenciamento para assim poder auxiliar a organização nas adaptações a serem feitas. Segundo Werkema (2012), para auxiliar nessa etapa as ferramentas fundamentais são: brainstorming, diagrama de Ishikawa, *failure mode and effect analysis* (FMEA), 5W2H, etc.

- *Controlar (Control)*: Após implementadas as melhorias na fase anterior, o desafio nessa última fase é tão importante quanto as outras, pois é nela que deverá ser sustentado os resultados alcançados até aqui. Essa sustentação se dá pela padronização dos métodos aplicados, além de monitorar constantemente as resultados

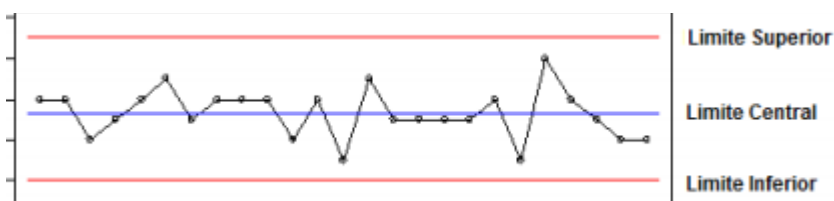
obtidas (GIJO; SCARIA; ANTONY, 2011). Para alcançar essa sustentação, Warkema (2012), sugere que ferramentas como: índice de capacidade do processo, folha de verificação e instruções de trabalho podem ser utilizadas para controle de processo.

2.1.1.1 Ferramentas da qualidade

De acordo com cada problema, são definidas algumas técnicas e ferramentas para cada etapa do modelo DMAIC.

- Mapa de processo: Tem a finalidade de facilitar o entendimento do processo em detalhes, pois para cada etapa se descreve as entradas, o que é realizado na etapa e as saídas, expandindo a visão para possíveis causas raízes (ROTONDARO et al., 2002).
- Diagrama de Ishikawa: Kaoru Ishikawa desenvolveu essa ferramenta com a ideia de fazer as pessoas pensarem sobre as causas que ocasionam um problema. Segundo Tubino (2000), esse diagrama simplifica processos complexos, pois a partir do problema como um todo, é dividido em processos mais simples e mais controláveis.
- Carta de controle: Segundo Tubino (2013) a carta de controle é um gráfico de acompanhamento no qual é formado por uma linha superior (LSC) e uma linha inferior (LIC) em relação a linha central (LC) do processo, sendo essas linhas, estatisticamente determinadas. Quando os pontos estiverem entre essas linhas, pode-se dizer que o processo está “controlado”, conforme mostra a Figura 4.

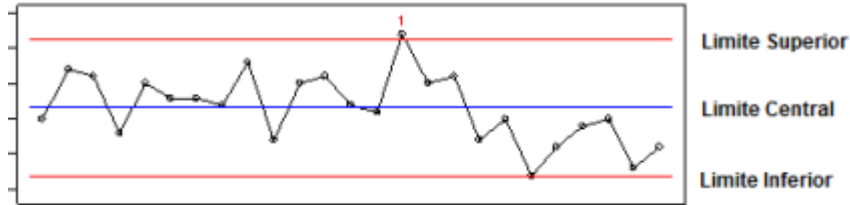
Figura 9: Exemplo de carta de controle para processo controlado



Fonte: Oliveira, (2013)

Já para um processo fora do controle, a carta de controle é ilustrada conforme mostra a Figura 5.

Figura 12: Exemplo de carta de controle para processo fora de controle estatístico



Fonte: Oliveira, (2013)

Nesse exemplo é possível verificar um ponto fora dos limites de especificação do processo, confirmando então que o processo não está controlado e que é necessário realizar ações corretivas para detectar e eliminar as causas dessa descentralização.

Segundo (SOARES, G, 2014) As cartas de controle podem ser divididas entre, cartas de controle por variáveis. são elas:

- Cartas \bar{X} e R (média e amplitude);
- Cartas \bar{X} e S (média e desvio padrão);
- Cartas I e MR (valores individuais e amplitude móvel);
- CUSUM (soma cumulativa);

E cartas de controle para atributos, são elas:

- Cartas p (para controlar a proporção de unidades não conformes);
- Cartas não (para controlar o número de unidades não conformes);
- Cartas c (para controlar o número de não conformidades por unidade);
- Cartas u (para controlar a taxa de não conformidades por unidade).

- Histograma: o histograma nada mais é do que um gráfico formado por uma série de retângulos com larguras representando o espaço entre os intervalos e alturas representando o número de vezes que algo ocorre dentro desse intervalo. Tem a finalidade de agrupar dados para uma maior facilidade de compreensão (CAFFREY, C, 2019).
- Gráfico de Pareto: Vilfredo Pareto, um economista italiano criou o famoso gráfico cuja o princípio se baseia na premissa de que 80% dos defeitos se concentram em 20% das causas. O gráfico tem o formato de barras no qual permite antepor as causas de não conformidade de um processo produtivo (MARSHALL JUNIOR et al., 2006).

2.1.2 *Lean Manufacturing*

A filosofia de manufatura enxuta surgiu devido à crise de 1949 na qual a Toyota foi vítima em decorrência das consequências causadas pela Segunda Guerra Mundial. Como resultado do pós guerra, o Japão se encontrava em situação de escassez de recursos para uma nova produção em massa, contudo existia a necessidade de acompanhar o desenvolvimento dos outros sistemas de produção que estavam em ascensão naquele momento, sistemas implantados por Henry Ford e General Motors.

Segundo Womack (1990), por volta de 1950 o engenheiro japonês Eiji Toyoda compareceu na cidade de Detroit para visitar a fábrica da Ford, e devido a isso, concluiu que seria possível melhorar o sistema de produção na sua empresa, a Toyota, porém não seguindo o sistema de produção em massa. Logo deu início ao que na época foi chamado de TPS – *Toyota production system*, e que nos dias de hoje é conhecido como sistema de produção enxuta, no qual pode ser resumido em produzir apenas o que é necessário e no momento necessário, tendo como consequência, evitar desperdícios no ambiente de trabalho.

Esse sistema também é conhecido como *just in time*, que para Oakland (1994), o *just in time* propõe a redução no tamanho do lote a ser produzido, o que serve como uma retenção de produtos defeituosos, facilitando a detecção e realizando ações de melhorias para obtenção de um produto com a qualidade especificada.

2.1.2.1 Os Sete Desperdícios

Desperdício é toda ação que consome recursos e que não agrega valor no produto desejado pelo cliente (RAY et al., 2006). Na Figura 6 é possível diferir os sete tipos de desperdícios.

Figura 14: Os 7 desperdícios do Lean Manufacturing



Fonte: Adaptado de Escola edti – Marcelo Petenate, 2018

Como o título do projeto já diz, o real intuito é reduzir a quantidade de produtos defeituosos, por isso o trabalho será concentrado no desperdício do tipo “Defeitos”.

2.1.2.2 Ferramentas *Lean Manufacturing*

Com finalidade de auxiliar na redução desses desperdícios, a metodologia Lean consiste em diversas ferramentas, como: mapeamento do fluxo de valor (VSM), Kanban, 5S, *Single Minute Exchange of Die* (SMED) e Poka-Yoke (CHAKRAVORTY, 2010).

Direcionando essas ferramentas para o desperdício do tipo “Defeitos”, Ohno (1997), define a autonomia como sendo a capacidade de uma máquina em detectar características fora de suas especificações que por fim classificam o produto como falho, impedindo que o mesmo de continuidade no processo produtivo, evitando assim que agregue valor ao produto já defeituoso.

Esse sistema também é conhecido como Poka-Yoke, que tem como significado “à prova de erros”. Consiste em um método de controle que visa eliminar erros nos processos produtivos, otimizando ou até mesmo automatizando processos vitais, minimizando erros e reduzindo desperdício. (PANGARTTE, 2014).

Seu princípio é inspecionar 100%, sendo uma inspeção efetiva, incansável e de ação imediata. Quanto a ação, eles podem atuar prevenindo defeitos ou corrigindo após o defeito acontecer. Alguns exemplos de Poka-Yokes que é possível perceber no dia a dia são:

- Pen Drive: Só há uma maneira de conectar;
- Mangueiras do tipo pistola: Só funcionam se o gatilho estiver sendo acionado;
- Protetor de tomada: Prevenção de choques;
- Prensa hidráulica com duas botoeiras acionadoras: Impedem que o operador acione a prensa enquanto está manuseando a peça.

2.2 VÁLVULAS PARA MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Válvulas são componentes de motores de combustão interna as quais devem ser de alta precisão devido ao fato de que estão sujeitas a elevadas pressões e temperaturas. Segundo (ZULETA DURANGO, 2016) as válvulas tem as seguintes funções:

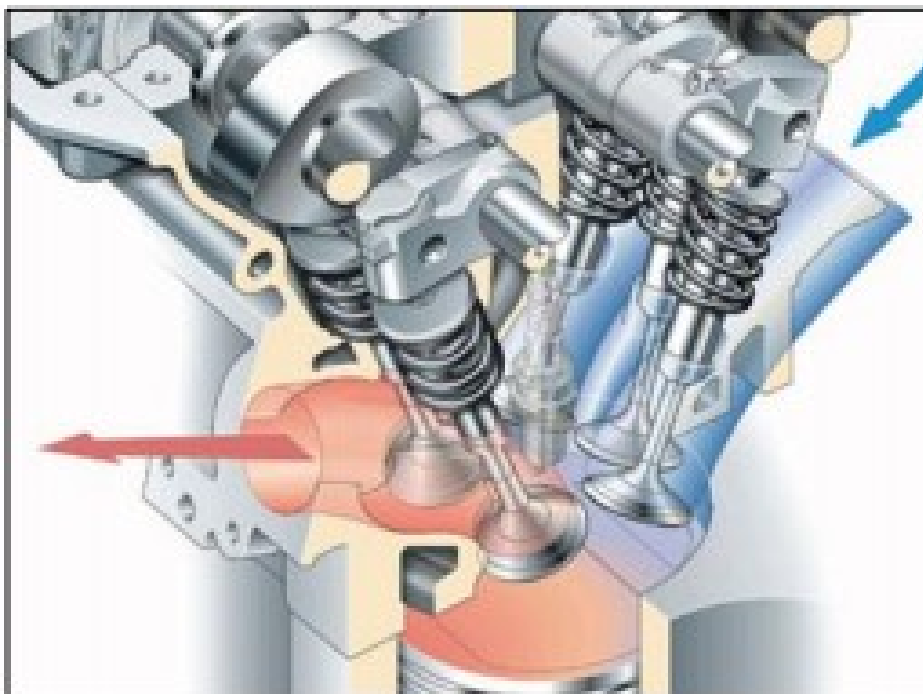
- Vedar as áreas de fluxo de gases;
- Controlar a troca de gases;
- Selar os cilindros do exterior;
- Dissipar o calor gerado, produto da combustão interna, transferindo-o para o anel de assento de válvula (sede) e para a guia de válvula.

As válvulas são classificadas de dois tipos: válvulas de admissão e válvulas de escape.

As válvulas de admissão têm como objetivo controlar a entrada de ar ou ar/combustível para dentro da câmara de combustão e dissipar o calor após a combustão. Também tem a importante função de vedar a câmara, permitindo que a mistura seja comprimida e entre em combustão por meio de uma centelha.

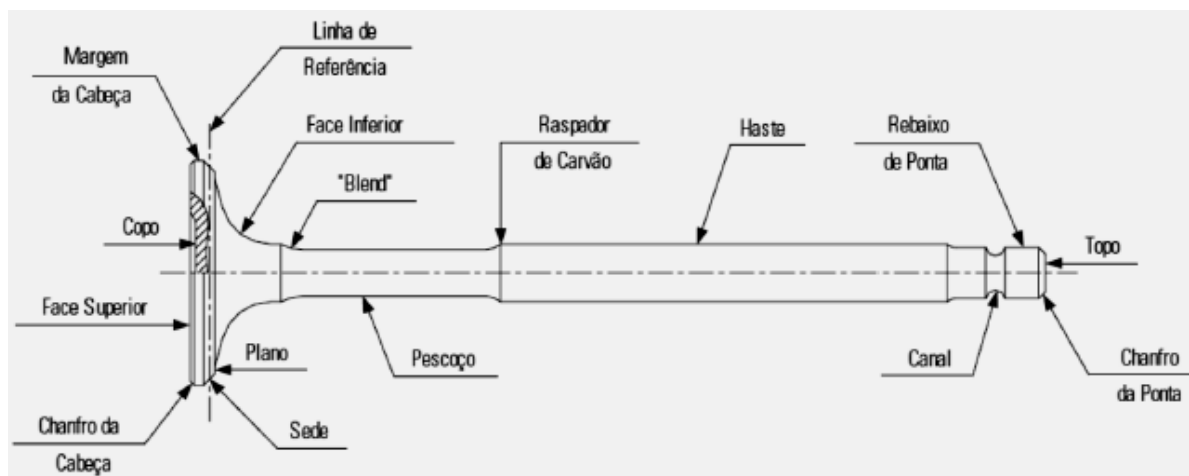
Já para o caso das válvulas de escape, as principais funções são: controlar a saída dos gases após a queima e vedar a câmara de combustão durante a compressão. Na Figura 7 é possível observar a alocação das válvulas no motor e suas respectivas funções.

Figura 17: Tipos de válvulas e suas funções



Fonte: Zuleta Durango (2016)

Figura 19: Nomenclatura das principais partes de uma válvula



Fonte: Trw, 2011

As válvulas geralmente são compostas por cabeça, haste e ponta. Podem ser de diferentes formas, aplicações e tamanhos. Na figura 8 é possível identificar a nomenclatura das principais partes que compõem uma válvula.

Geralmente as válvulas de admissão são produzidas com um só material, então são classificadas como monometálicas. Já para exercer a função de escape dos gases, as válvulas são fabricadas com dois tipos de materiais, sendo a cabeça de um material e a haste com outro material de características diferentes, sendo então, chamadas de válvulas bimetálicas.

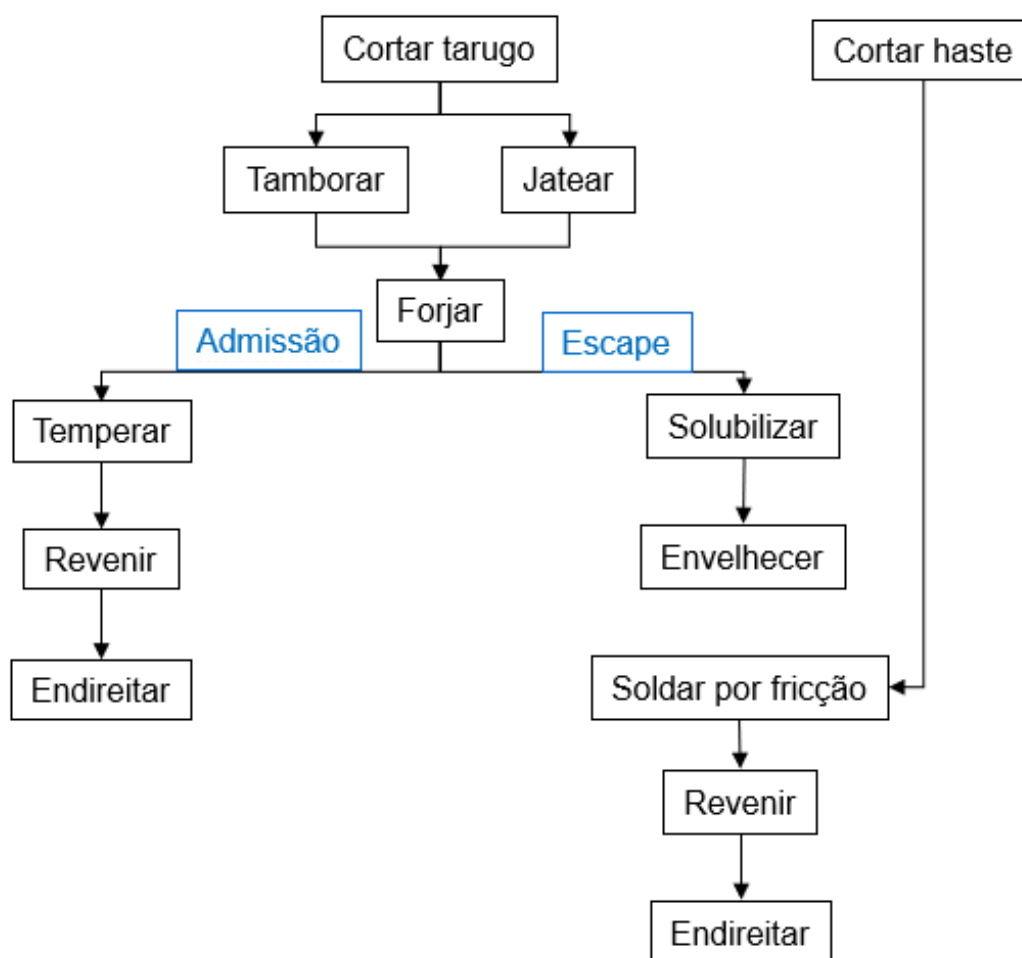
2.2.1 Processo de fabricação

As válvulas são produtos de diferentes tamanhos, funções, materiais e tecnologias. É por isso que o processo de fabricação varia conforme as condições especificadas pelo cliente juntamente com a engenharia de manufatura. O processo pode ser dividido nas seguintes etapas:

1. Forjaria
2. Linhas

Na Figura 9 é possível observar o processo de forjaria.

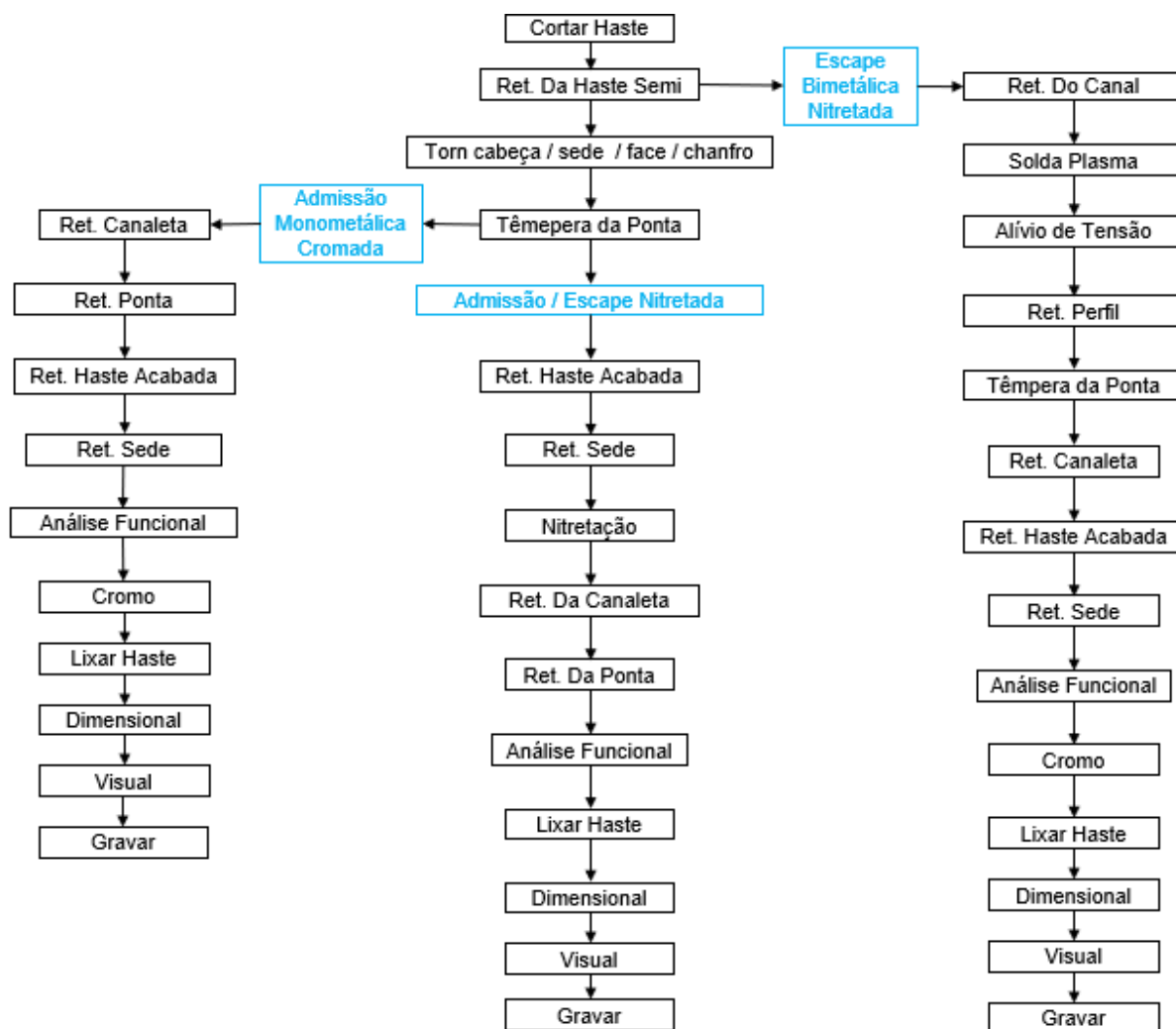
Figura 22: Fluxograma 2 do processo de fabricação forjaria



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

Após o término do processo na forjaria, as válvulas são levadas para as linhas onde inicialmente passam pelo processo de usinagem semiacabado, no qual é feito um acabamento mais grosseiro no produto. É possível observar o fluxo do processo, tanto da usinagem semiacabada quanto o de acabamento final e seus processos de testes finais no Figura 10.

Figura 25: Fluxograma 5 do processo de produção das linhas



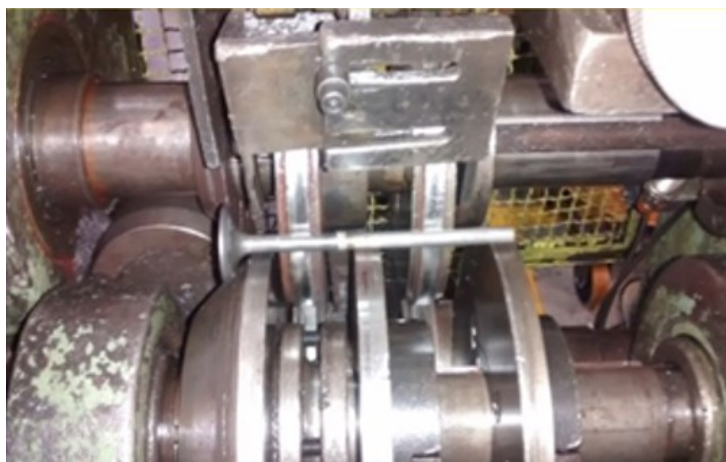
Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

Devido à grande quantidade de processos, abaixo foi dada uma breve descrição nos processos que foram essenciais para realização desse estudo:

- Endireitamento

Esse processo é a última etapa antes da válvula entrar na linha para usinagem. Ele tem como objetivo alinhar as válvulas pois em processos anteriores como por exemplo a solda por fricção na qual une a haste com a cabeça forjada, ocorre um desalinhamento na válvula. O processo consiste no pré-aquecimento da peça que em seguida passa por rolos que giram em sentidos inversos aplicando uma pressão na peça. É nessa etapa que a característica, Batimento da Sede é gerada pois a cabeça da peça é apoiada por um disco que entra em contato com a sede, para então a haste ser alinhada pelos rolos. A Figura 11 ilustra o processo de endireitamento.

Figura 28: Disposição da válvula nos rolos do processo de endireitamento.



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

É possível observar o visual da válvula após o processo de endireitamento na Figura 12.

Figura 30: Visual da válvula após endireitamento

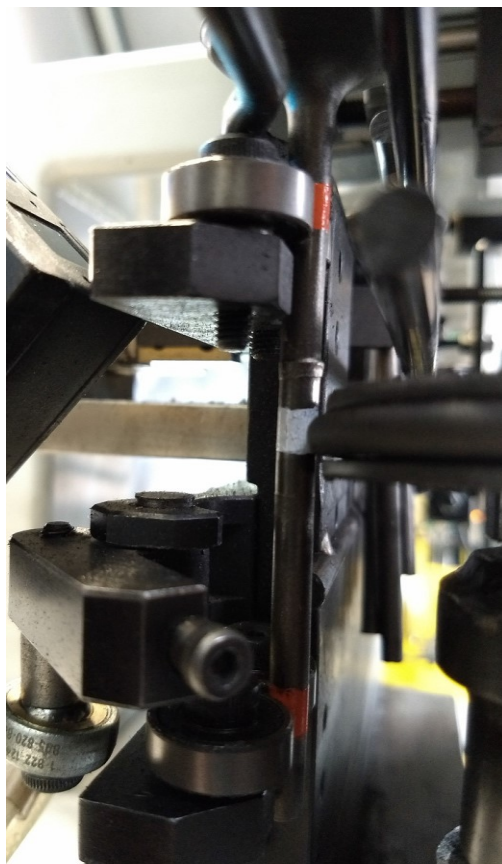


Fonte: Autoria própria, 2020

- **ACCUS**

Essa máquina está disposta logo depois da saída dos rolos. Ela é composta por dois rolamentos que devem ser posicionados na mesma posição em que foram passados os rolos no processo de endireitamento (Figura 13) e por um laser que é ajustado na posição da sede (Figura 14). A função da máquina é fazer a peça girar por esses rolamentos fazendo com que o laser meça o valor do batimento da sede e então conforme o resultado obtido, a peça é aprovada ou rejeitada, evitando então que peças fora da tolerância especificada para essa determinada característica, siga para os processos seguintes.

Figura 36: Posicionamento dos rolamentos para leitura da sede na Accus.



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

Figura 33: Posicionamento do laser na sede da válvula.



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

- Retífica da Haste Grosseira (15G)

Geralmente é a segunda operação das linhas de produção, nela a haste é retificada deixando a peça com um acabamento ainda um pouco grosseiro. Nesse sistema a peça é apoiada sobre uma régua de altura regulável, localizada entre os rebolos de corte e de arraste. É possível ver a ilustração do procedimento na Figura 15.

Figura 39: Disposição das ferramentas para o processo de retífica da haste

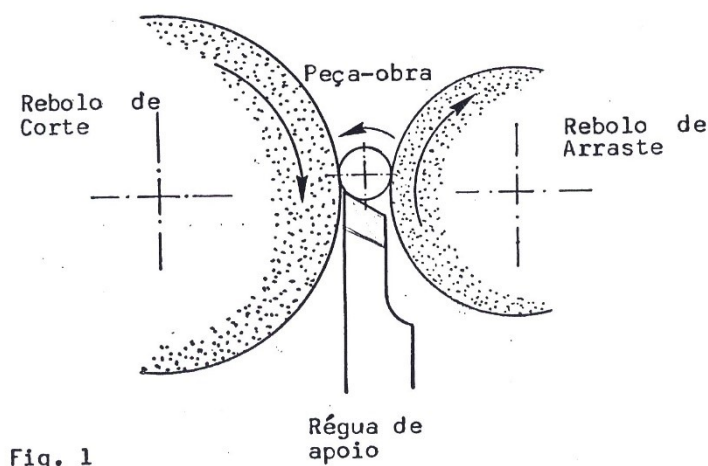


Fig. 1

Fonte: *Fornecido pela empresa, 2020*

A peça então é retificada a partir do contato com o rebole de corte e o rebole de arraste, que é responsável pela geração da rotação da peça e também pelo movimento longitudinal da mesma (Figura 16).

Figura 42: Ilustração do processo de retífica da haste grosseira.

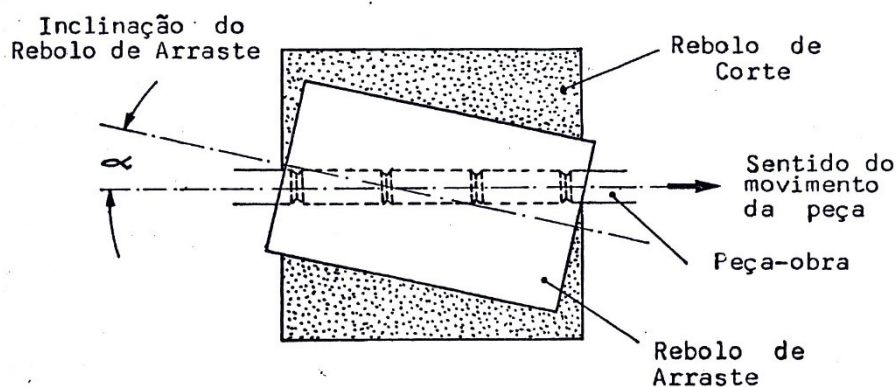


Fig. 2

Fonte: *Fornecido pela empresa, 2020*

A Figura 17 mostra como a válvula fica após a conclusão do processo.

Figura 45: Visual da válvula após operação 15G.



Fonte: Autoria própria, 2020.

- Bend Test

Após a realização da retífica, a válvula segue processo para um teste de flexão. A finalidade dessa máquina é evitar que peças com trincas provenientes de processos anteriores, sigam adiante. O processo é simples, consiste em uma pressão aplicada na região da solda, com a válvula estando apoiada nas extremidades.

- Retífica de perfil (HSG)

A retífica de perfil engloba a usinagem das seguintes características: sede, enchimento, diâmetro da cabeça, como é possível verificar na Figura 18. A válvula a ser estudada não tem seu enchimento usinado.

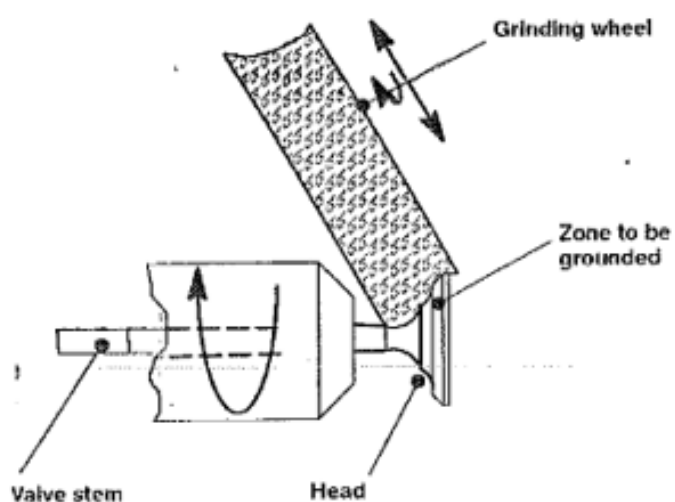
Figura 48: Características usinadas na HSG



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

A válvula entra na máquina e é presa por uma pinça, em seguida entra o rebolo e faz a retífica do perfil (Figura 19).

Figura 51: Processo de retífica de perfil.



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

A Figura 20 mostra como a válvula sai do processo de retífica de perfil.

Figura 54: Visual da válvula após HSG



Fonte: Aatoria própria, 2020

- Retífica da haste semi acabada (15S)

Esse processo é basicamente igual ao da 15G, porém com parâmetros diferentes a fim de obter um melhor acabamento na haste.

- Retífica da sede (25)

A máquina Retífica da Sede, retifica a peça, deixando-a conforme especificado no desenho. O conjunto da pinça de fixação da peça se mantém fixo, enquanto o rebolo de corte se movimenta. A peça sofre um giro pelo conjunto da pinça, que por sua vez é usinada através do avanço do rebolo de corte sobre a mesma. A Figura 21 mostra a válvula acabada após processo de retífica da sede.

Figura 57: Visual da válvula após 25



Fonte: Autoria própria, 2020

3 METODOLOGIA

No Brasil e também em alguns países desenvolvidos há uma preocupação crescente na área das engenharias e gestão das operações e a questão é as metodologias utilizadas no desenvolvimento de pesquisas. Dentre elas, destaca-se o uso frequente do estudo de caso (CAUCHICK MIGUEL, 2007).

Para essa pesquisa foi adotado a utilização da metodologia de estudo de caso devido às características apresentadas pelo projeto.

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA EMPRESA (UNIDADE DE ANÁLISE)

A companhia a qual foi realizado esse estudo tem sua matriz situada na região sudeste do Brasil, onde o ramo de negócios é o gerenciamento de energia. Possui fábricas fora do Brasil, espalhadas em mais de cinco países, além de presença comercial em mais de 120 mercados no exterior. A planta em que foi feito o estudo, está localizada no estado de São Paulo. Seu quadro é de aproximadamente 500 colaboradores e com uma produção média de 70.000 válvulas por dia.

3.2 REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A necessidade da realização desse projeto surgiu devido à análise de indicadores de qualidade durante reuniões diárias, na qual notou-se a frequente aparição do defeito Excentricidade da Sede da válvula V-5991 (Figura 22) na área da forjaria, especificamente no setor de endireitamento. Devido a isso, tornou-se um dos custos de sucata de maior impacto para empresa. Além disso, foi levantado a questão, se realmente esse defeito era proveniente da área de forja, pois todos os custos relacionados a esse modo de falha eram repassados para esse setor.

Figura 60: Vista superior da válvula V-5991 com o defeito 'excentricidade da sede'

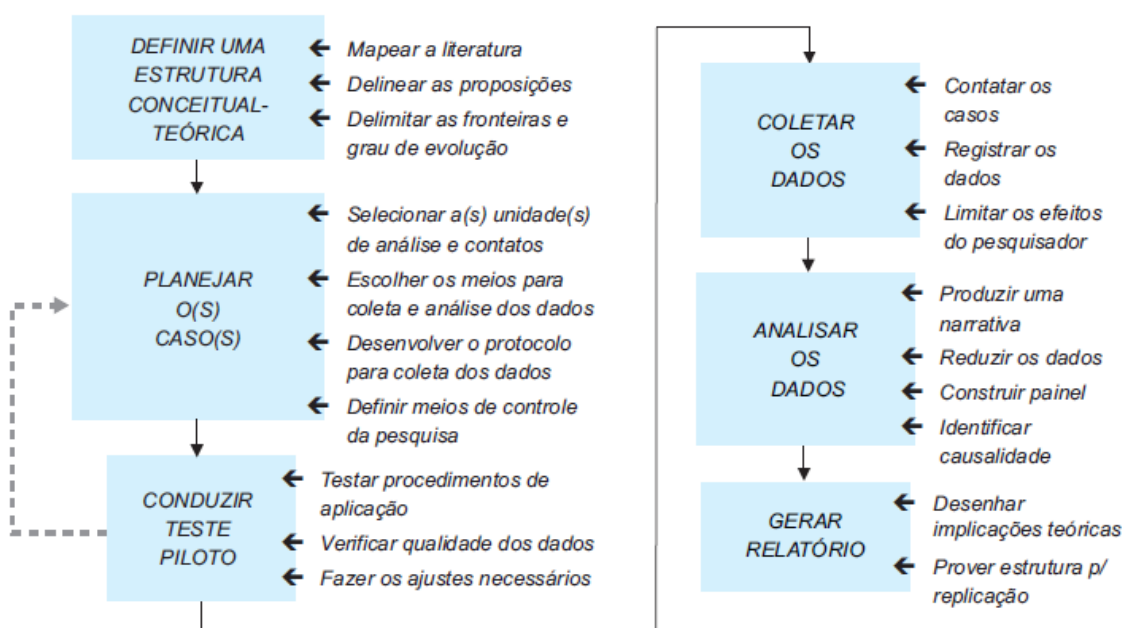


Fonte: Autoria própria, 2020

A válvula na qual foi realizado o estudo é classificada como uma válvula bimetálica, utilizada para o escape dos gases formados na combustão interna do motor.

Como já citado anteriormente, o estudo de caso foi a metodologia utilizada para realização desse trabalho. Na Figura 23 é possível ver a condução do estudo de caso. Lembrando que é apenas uma base e não necessariamente todas as etapas foram seguidas.

Figura 62: Condução do estudo de caso



Fonte: CAUCHICK (2007)

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi realizada uma junção da metodologia Seis Sigma com o estudo de caso. Definiu-se o time de projeto, no qual tinha como facilitador o gerente de qualidade, o líder, o autor desse trabalho e demais membros do time, engenheiros, auditores de qualidade e operadores experientes os quais contribuíram com seu vasto conhecimento para auxiliar no desenvolvimento do projeto. Dando início, na primeira etapa foi realizado um estudo para ter um embasamento maior sobre a teoria a ser aplicada, concluindo objetivo específico descrito na etapa anterior, juntamente com isso, foi definido o problema, apresentando dados nos quais confirmam a necessidade da realização do estudo.

Na etapa seguinte, sobre planejar os casos, foi desenvolvido juntamente com o time de projeto, o mapa de processo, e diagrama de Ishikawa, levantando informações específicas das quais foi possível identificar possíveis causas raízes.

Dando continuidade na formatação do estudo de caso, realizou-se um teste piloto com finalidade de identificar possíveis processos geradores do defeito. Após feito isso foi dada sequência na coleta de dados e análise para definição da causa raiz.

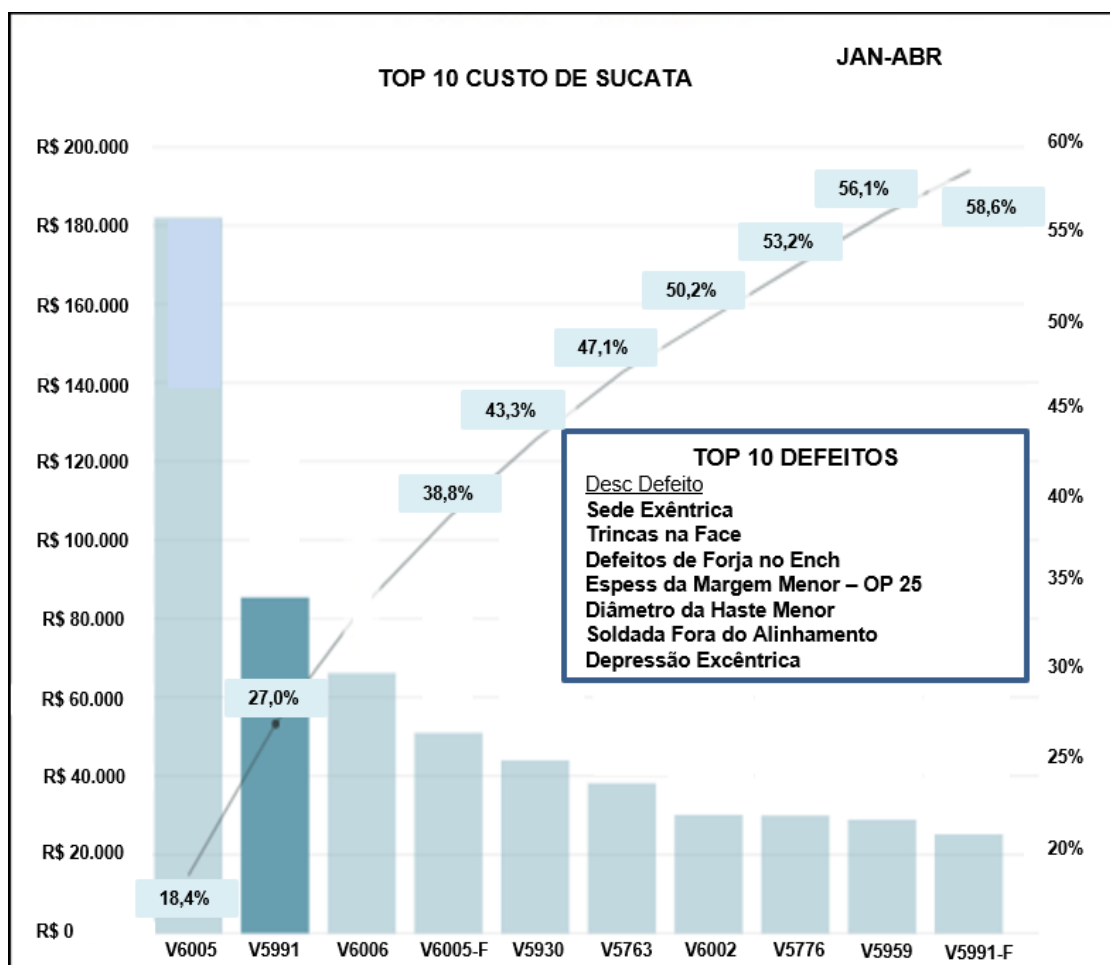
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção é mostrado os resultados analisados a partir da coleta de dados e também apresentada uma breve discussão sobre o conteúdo adquirido a partir dessa análise.

4.1 ETAPA 'DEFINIR'

Primeiramente foi necessário levantar os dados quantidade de *sucata* para provar a real necessidade da realização desse estudo e para a definição do *baseline* do projeto. Com o auxílio de indicadores de qualidade e planilhas de produção foi possível definir o ponto de partida do projeto. A Figura 24 mostra a situação do ano de 2020 nos meses de janeiro a abril em relação ao defeito a ser estudado.

Figura 65: Pareto top 10 custos de sucata da forjaria

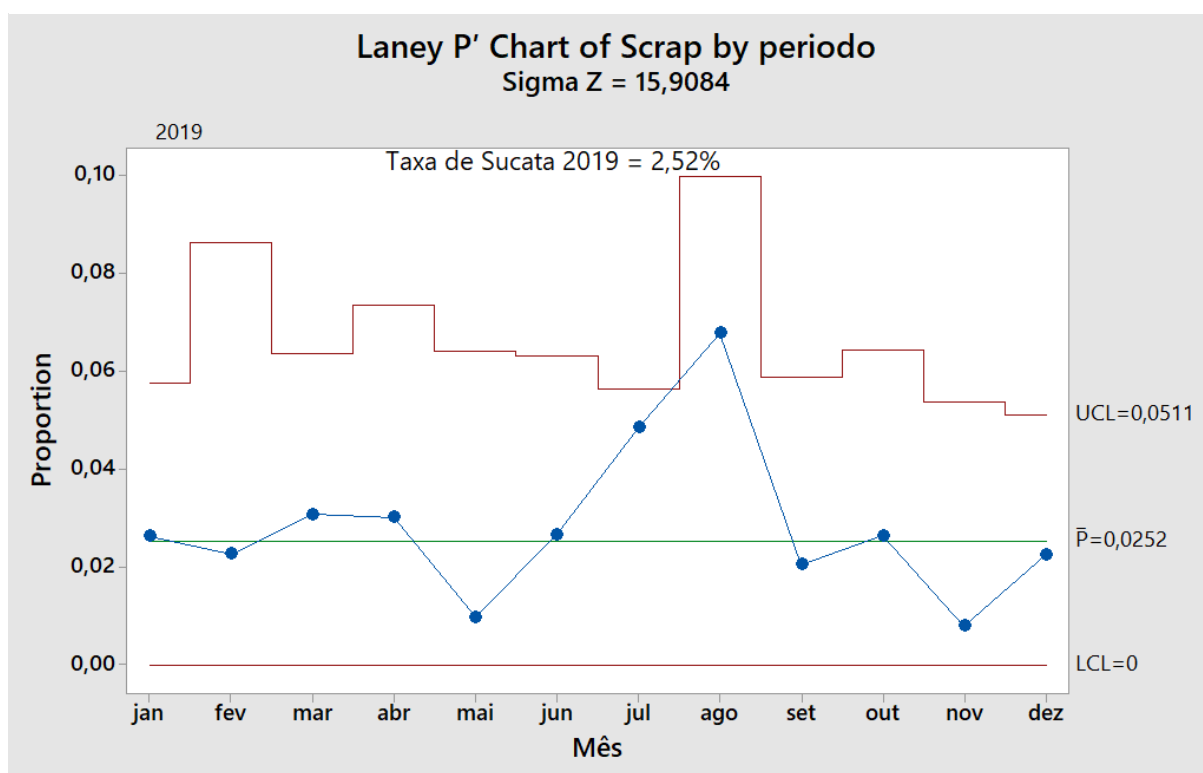


Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

Com isso é possível provar que a válvula V-5991 tem o segundo maior custo de sucata da área da forjaria e dentro dos defeitos ocorrentes nessa válvula, o modo de falha de sede excêntrica assume o primeiro lugar sendo o mais custoso.

Para traçar uma base de referência da proporção de quantidade produzida e quantidade de sucata, foi levantado os dados de 2019 e 2020, assim obteve-se um ponto inicial para poder traçar o objetivo do trabalho. A Figura 25 mostra essa proporção durante o ano de 2019.

Figura 68: Proporção de sucata no decorrer do ano de 2019

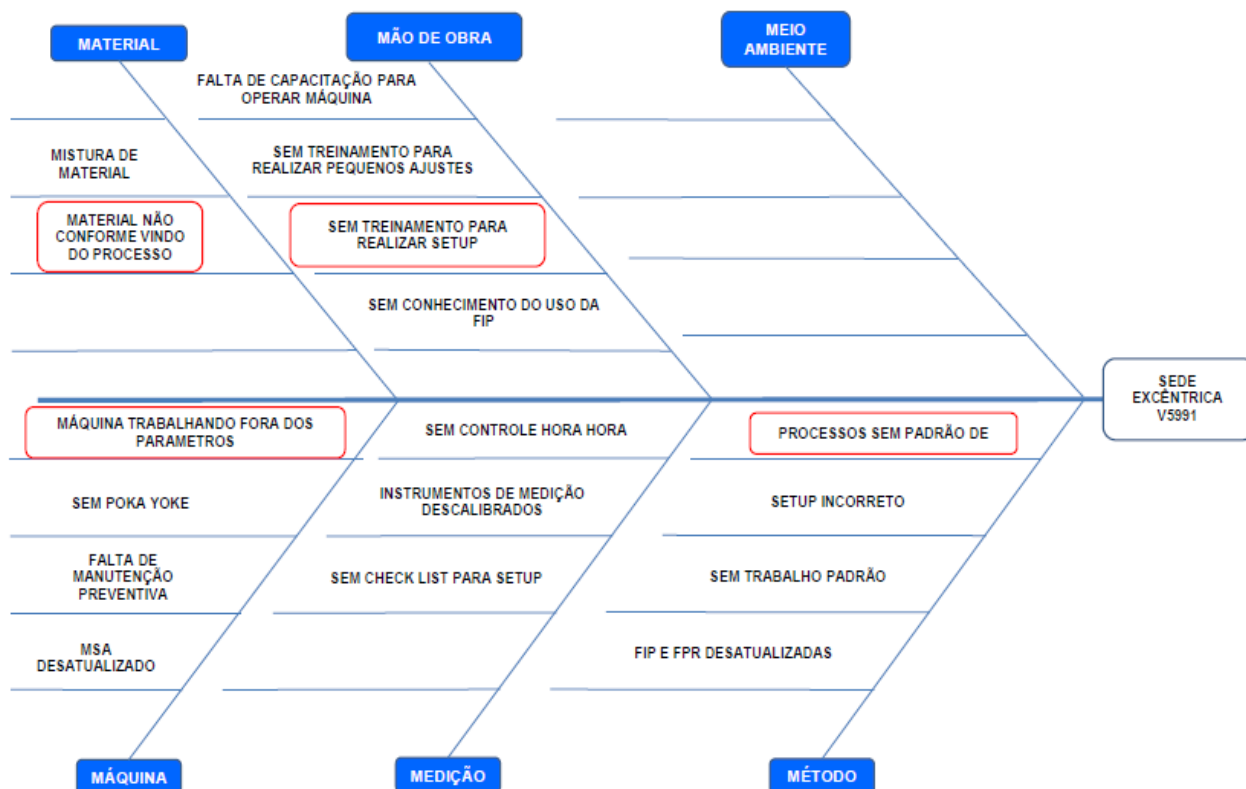


Fonte: Autoria própria, 2020

Com isso é notável que a proporção de sucata gerado no ano de 2019 foi no valor de 2,52%. A partir disso foi possível traçar a meta de redução da proporção de peças produzidas por sucata. Juntamente com o gestor, definiu-se como objetivo reduzir 25% da proporção produzido por sucata em relação a 2019, logo, em 2020 a meta é atingir 1,89% na proporção de sucata produzida.

Definido o objetivo final, agora juntamente com o time de desenvolvimento do projeto, realizou-se o diagrama de Ishikawa, com finalidade de levantar possíveis causas e identificar os pontos de maior desconfiância. A Figura 26 a seguir ilustra o diagrama de Ishikawa.

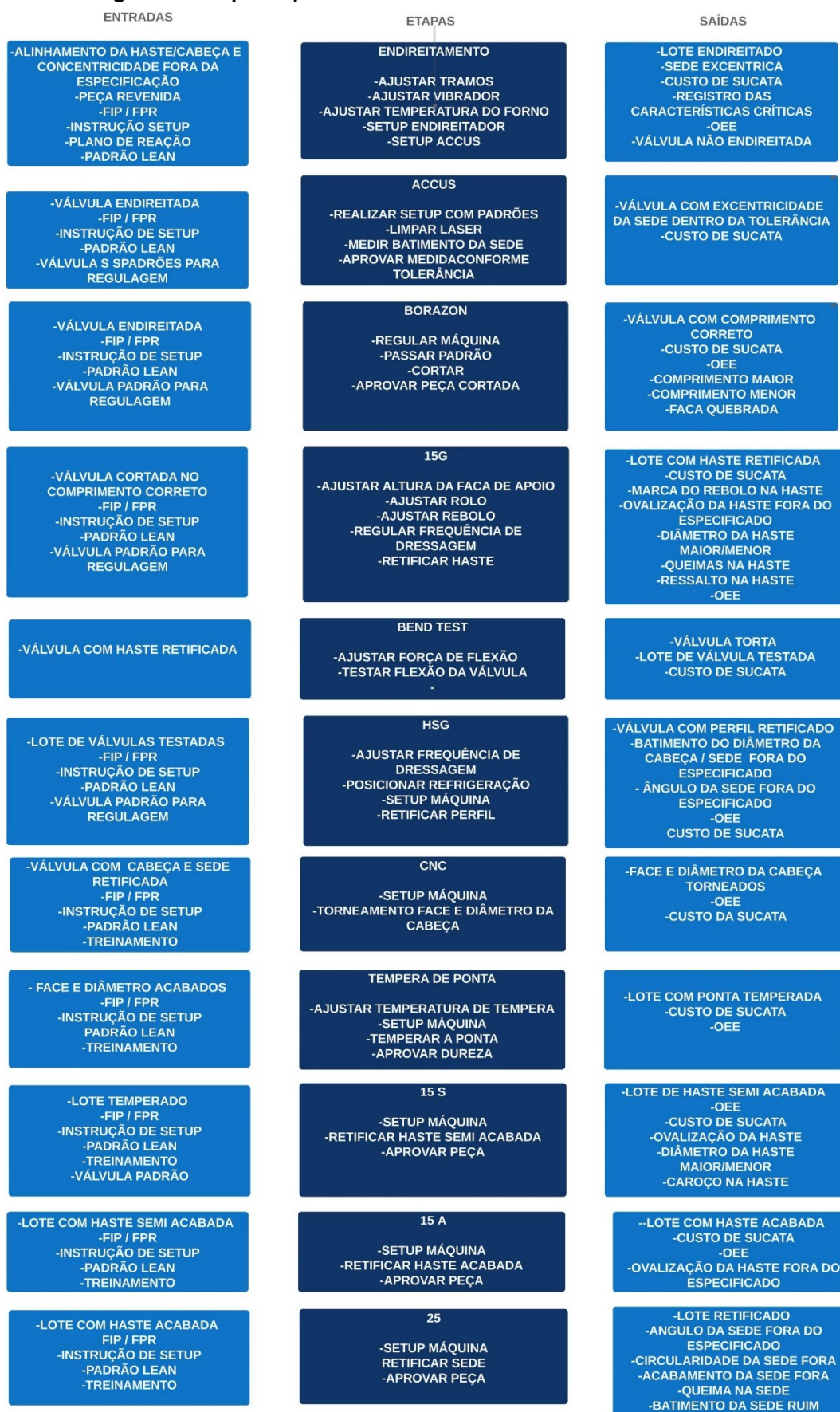
Figura 71: Diagrama de Ishikawa com as principais suspeitas de causa raiz



Fonte: Autoria própria, 2020

Além do diagrama de Ishikawa, para finalizar a fase definir da metodologia DMAIC, também foi realizado um mapa de processo para conhecer mais a fundo as entradas, o que é realizado e as saídas de cada etapa da produção. A Figura 27 mostra esse mapeamento realizado.

Figura 74: Mapa de processo defeito de Sede Excêntrica V-5991



Fonte: Autoria própria, 2020

4.2 PLANO DE COLETA DE DADOS

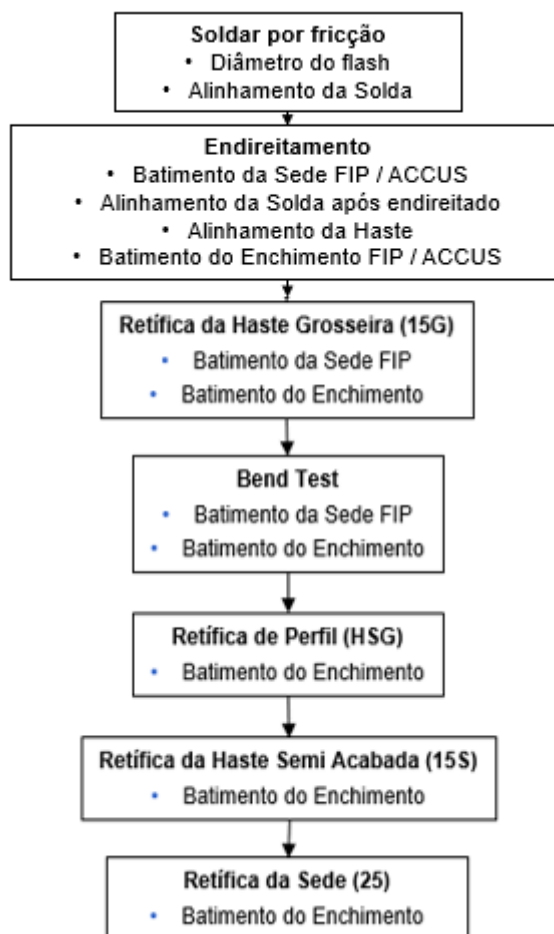
Após estudar o processo produtivo com mais detalhes e levantar hipóteses causadoras do defeito, juntou-se o time de projeto e operadores mais experientes e foram definidos os processos nos quais existiam a possibilidade de gerar o defeito de Sede Excêntrica.

Além disso, definiu-se as características a serem medidas em cada processo, para que na etapa analisar pudesse estudar possíveis correlações entre as variáveis de entrada e a variável de saída.

Por fim, foi sugerido pelo gerente de qualidade para que o estudo fosse realizado com uma amostragem de 125 peças retiradas após o processo de solda por fricção nas quais foram separadas em três grupos conforme os valores de alinhamento da solda.,

A Figura 28 representa os processos em que apresentam possibilidade de provocar o defeito, também consta as características a serem medidas após realizar cada etapa.

Figura 77: Fluxograma 3, possíveis processos geradores do defeito de Excentricidade da Sede



Fonte: Autoria própria, 2020

4.2.1 Métodos de medição das características

Durante o plano de coleta de dados foram definidas as características a serem medidas durante a realização do estudo. Nesse capítulo será apresentada em mais detalhes as formas e dispositivos utilizados para medição.

Primeiramente o instrumento de medição utilizado foi um relógio comparador centesimal (Figura 29).

Figura 80: Instrumento de medição relógio comparador centesimal

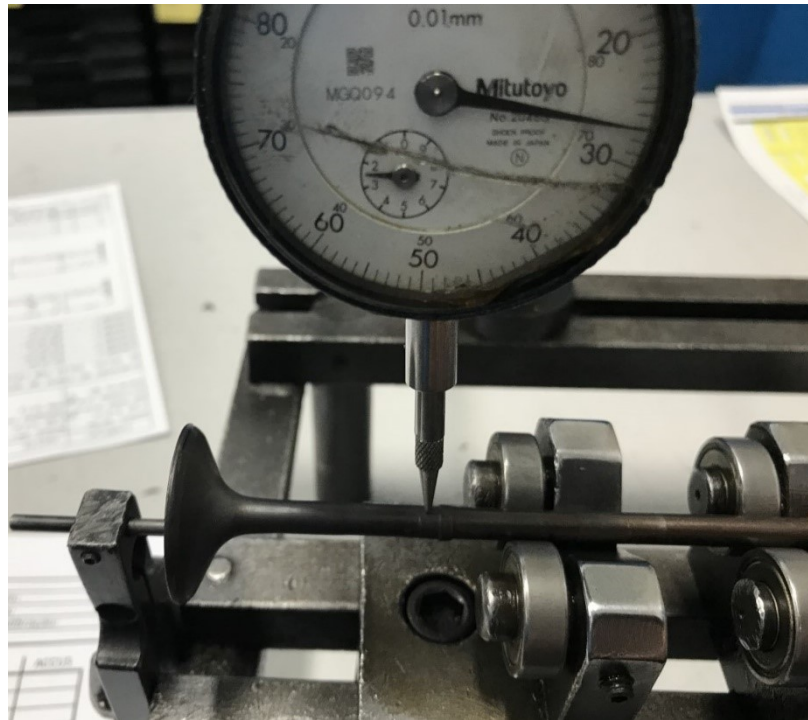


Fonte: Autoria própria, 2020

A seguir as características da válvula determinadas na coleta de dados serão descritas detalhadamente:

- Alinhamento da Solda: após o processo de solda por fricção é necessário garantir que o alinhamento da solda para então dar continuidade no processo. Válvulas com alinhamento acima do especificado poderão continuar tortas após o endireitamento ou até mesmo quebrar durante o processo. A forma que é medida essa característica é mostrada na Figura 30, a posição do relógio comparador deve estar a 2 milímetros após a solda conforme manda na FIP.

Figura 83: Dispositivo regulado para medição do Alinhamento da Solda



Fonte: Aatoria própria, 2020

- Diâmetro do Flash: *flash*, como é chamado o sobremetal na região da solda. Máquina retira o excesso de material resultante do processo, isso é feito por uma ferramenta chamada *stripper*, porém mesmo com a remoção do sobremetal, na região da solda resulta em um diâmetro maior do que quando comparado com o diâmetro da haste. Esse diâmetro tem uma tolerância máxima na qual é definida pela FIP. A Figura 31 representa a medição do diâmetro da solda.

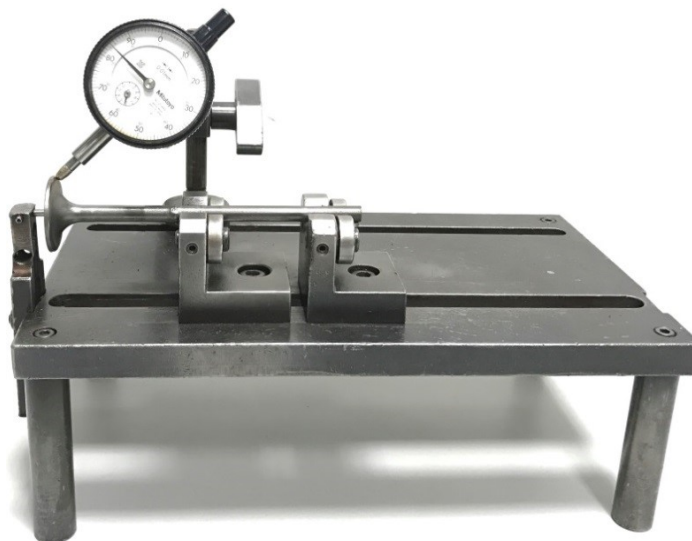
Figura 86: Medição do Diâmetro do Flash



Fonte: Autoria própria

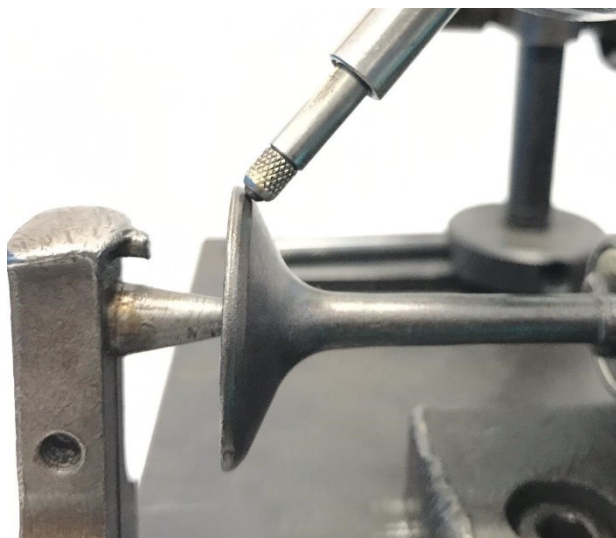
- Batimento da Sede FIP: folha de parâmetro de processo (FIP) é o documento oficial da empresa e nela contém as características críticas de processo, como também, todos os parâmetros que devem ser verificados para a aprovação de setup. Ela inclui também, como a válvula deve ser disposta para medição, além das tolerâncias aceitáveis para cada tipo de válvula e por fim as frequências em que o operador deve medir e registrar no registro de controle. A Figura 32 ilustra como é definida essa disposição. É possível perceber que ambos os rolamentos estão posicionados após a solda. Também se nota que a ponteira do relógio comparador está posicionada na sede, é possível ver em detalhes esse posicionamento na Figura 33.

Figura 89: Disposição dos roletes conforme FIP



Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 92: Detalhe do posicionamento do relógio comparador

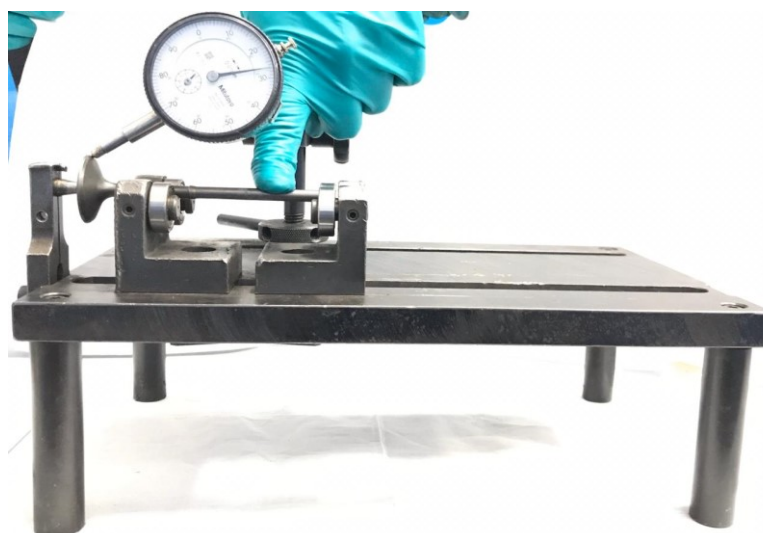


Fonte: Autoria própria, 2020

- Batimento da Sede Accus: conforme ilustrado na Figura 13, a Accus como é nomeado o Poka Yoke, realiza a leitura à laser com os rolamentos posicionados nas extremidades, diferente do que consta

na FIP, por isso foi coletado os valores dessa característica com o dispositivo ajustado da mesma maneira que a máquina Accus faz a leitura. A Figura 34 mostra o posicionamento dos rolamentos no dispositivo de medição.

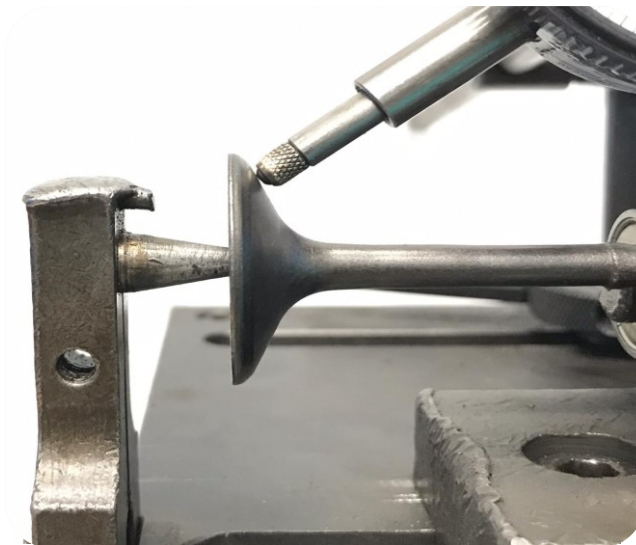
Figura 95: Disposição dos roletes conforme Accus



Fonte: Autoria própria, 2020

- **Batimento do Enchimento:** os valores dessa característica serão coletados pois após o processo de HSG a sede será usinada, zerando seu valor. Por isso, para poder controlar e verificar a possibilidade de que algum outro procedimento adiante gere o defeito, será medida essa característica. Os valores serão coletados com os rolamentos posicionados, ambos atrás da solda, mesma disposição para a medida de Batimento da Sede FIP e com os rolamentos dispostos conforme a medida de Batimento da Sede ACCUS. A única coisa a ser mudada será a posição da ponteira do relógio comparador, que será posicionada no enchimento da válvula Figura 35.

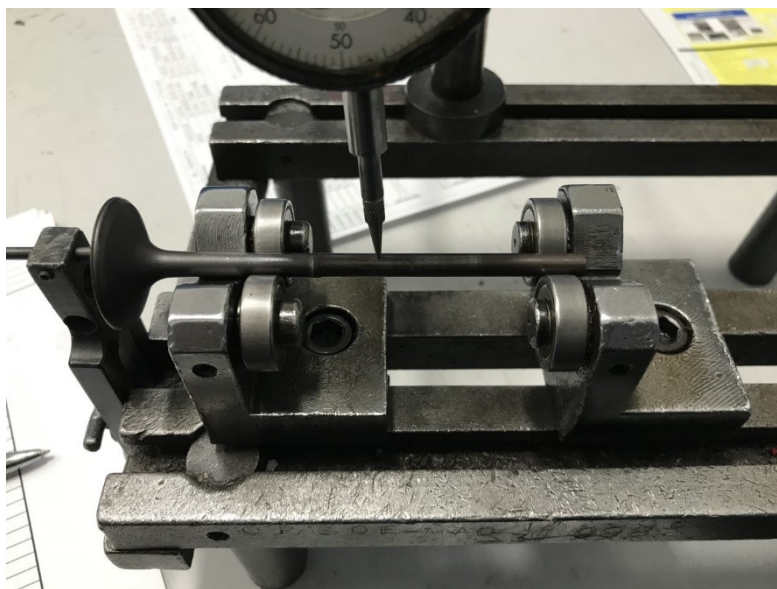
Figura 98: Detalhe do posicionamento no enchimento



Fonte: Autoria própria, 2020

- Alinhamento da haste: o processo de endireitamento tem como objetivo alinhar a peça, por isso é necessário garantir essa característica, pois válvulas tortas podem gerar defeitos na hora da retífica da haste. Essa medição é feita como mostra a Figura 36.

Figura 101: Medição do Alinhamento da Haste



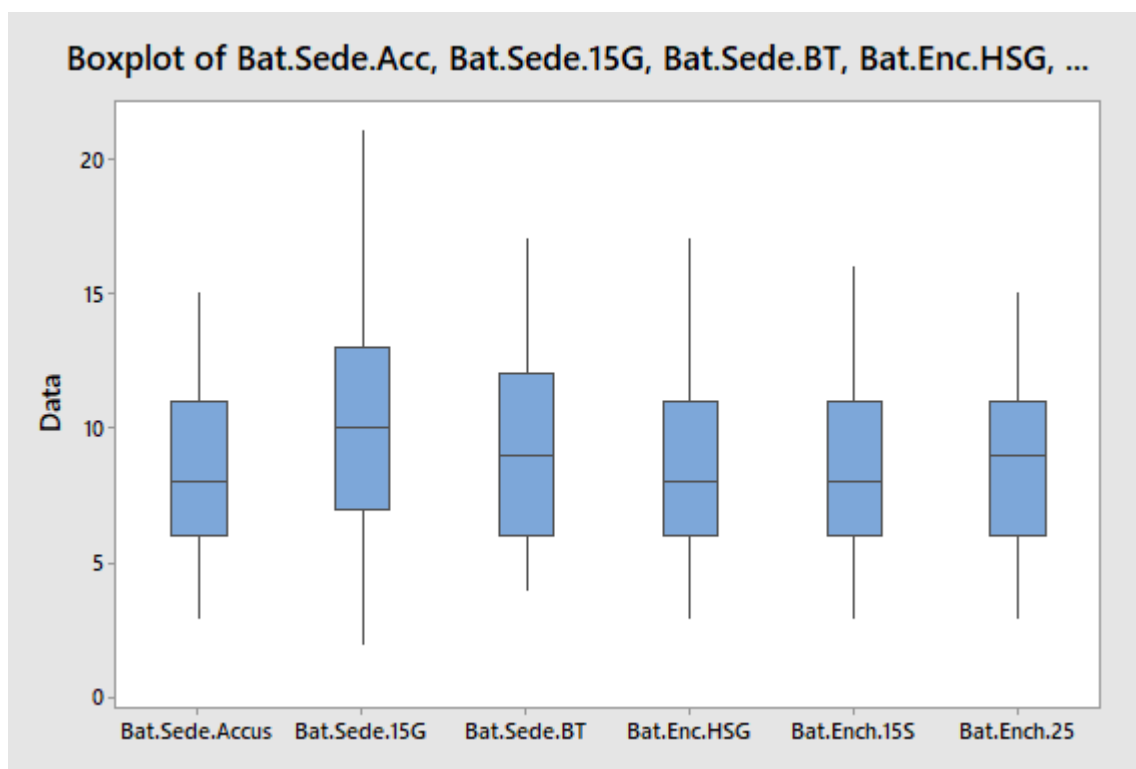
Fonte: Autoria própria, 2020

4.3 TESTE PILOTO

Antes de iniciar a coleta de dados conforme planejado no tópico anterior, foi realizado um teste piloto, no qual foi simulado o caso de a Accus aprovar peças boas dando sequência no processo de produção. A finalidade desse teste piloto foi verificar em qual das supostas etapas de produção estava aumentando a variabilidade da característica Batimento da Sede ou se até mesmo o processo de endireitamento estava mandando peças com uma variabilidade alta, porém dentro da tolerância.

Primeiramente foi sugerido pelo engenheiro da qualidade que fosse coletado uma amostra de 125 peças com Batimento da Sede dentro da tolerância especificada. Após isso foi dado sequência na linha de produção e dentro dos processos levantados como possíveis causadores do defeito, era realizada a medição das características citadas na Figura 28.

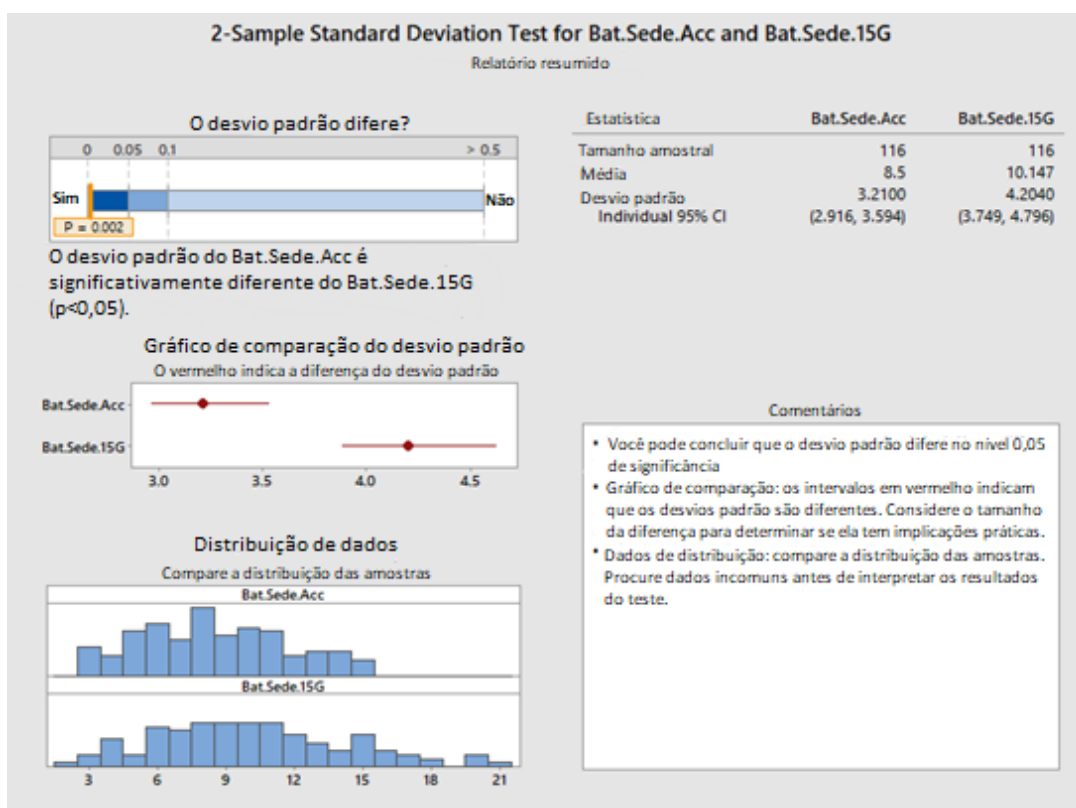
Para a análise dos dados coletados, foi utilizado o software Minitab 2018. Inicialmente foi feita uma análise gráfica, *Boxplot*, para ter uma visão macro da variação dos valores em cada processo, no qual é possível observar essa análise na Figura 37.

Figura 104: Gráfico *boxplot* para a característica Batimento da Sede

Fonte: Aatoria própria, 2020

Visualmente é possível observar o aumento na variação entre os processos de endireitamento e 15G. Também pode-se perceber uma melhora nas medições no decorrer do processo, o que significa que a linha de produção está diminuindo essa variação. Para ter certeza nessas afirmações, foi realizado o teste de hipótese 2-Sample Z no *software* Minitab no qual compara o desvio padrão de dois subgrupos. O intervalo de confiança utilizado foi 95%. A Figura 38 mostra o resultado desse teste.

Figura 106: Teste de hipótese 2-Sample Z



Fonte: Autoria própria, 2020

Com isso, é possível afirmar com 95% de certeza que os subgrupos, batimento da sede Accus e o batimento da sede após a 15G são significativamente diferentes entre si. Portanto as possibilidades das causas desses defeitos diminuem para os processos de 15G e endireitamento.

4.4 ETAPA 'MEDIR'

Após realizado o teste piloto e afinando as hipóteses para os processos até a retífica da haste grosseira, foi dado início a coleta de dados conforme planejado, medindo as características especificadas em cada folha de instrução de processo.

Os dados foram coletados da seguinte maneira:

- 25 peças com alinhamento da solda até 0,25 mm;
- 50 peças com alinhamento da solda de 0,25 até 50mm.
- 50 peças com alinhamento da solda maior do que 0,50 mm

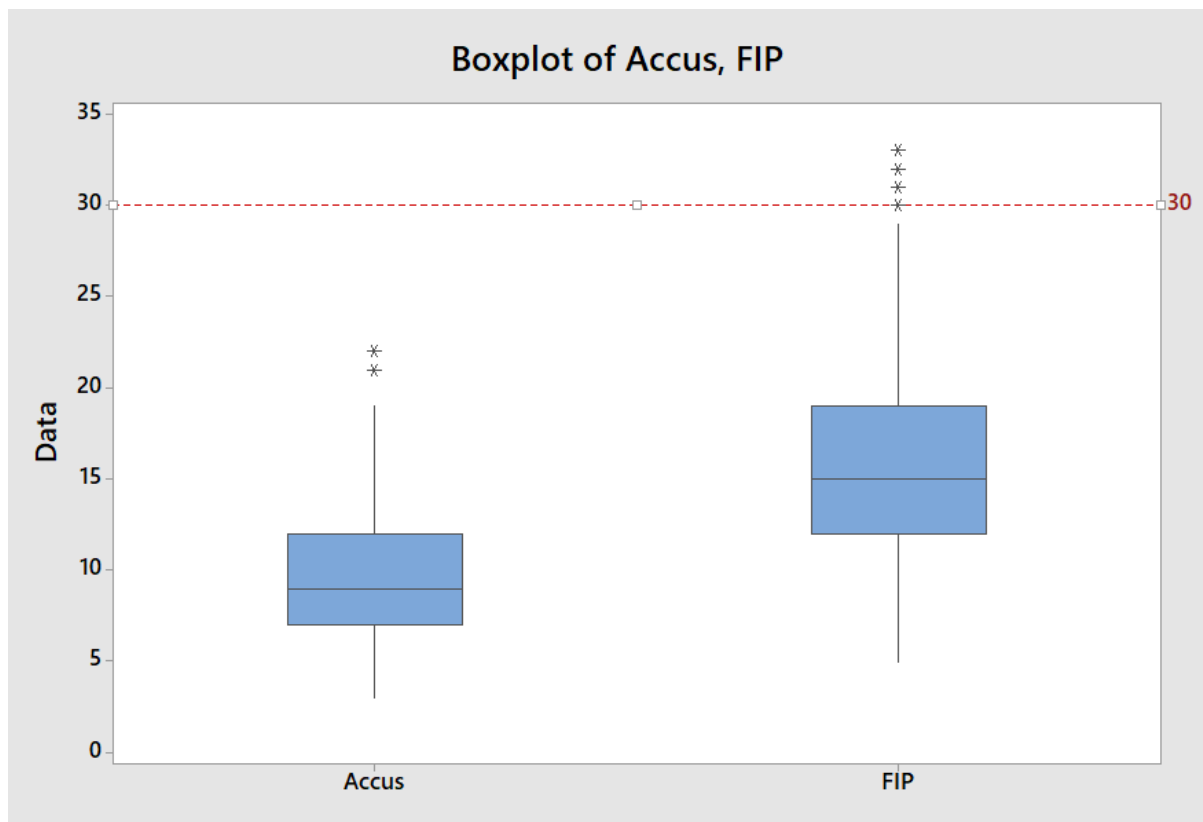
Dessa amostra foram medidas as características conforme consta na Figura 28 e Figura 31. Então foi dada sequência e a amostra foi passada pelo processo de endireitamento. Após coletadas as medidas das características, o último processo a ser realizado foi a retífica da haste grosseira.

Terminada a coleta de dados, foi dado início a fase analisar.

4.5 ETAPA 'ANALISAR'

A primeira análise que foi realizada, foi para comparar os valores medidos conforme a Folha de Instrução de Processo (FIP) sugere e conforme o Poka-Yoke Accus faz a leitura do batimento da sede. A tolerância recomendada pela FIP é de até 0,30 mm e na máquina Accus estava sendo utilizada tolerância de até 0,30 mm. A Figura 39 mostra a variância desses valores quando comparados.

Figura 108: Comparação das medidas entre FIP e ACCUS



Fonte: Autoria própria, 2020

É notável que peças medidas conforme indica a FIP, possuem uma variação maior do que como é medido no Poka-Yoke Accus. Isso se deve à disposição dos roletes. Na Figura 32 é possível ver como a FIP manda que seja controlada a característica do batimento da sede. Já na Figura 13, se nota de como o Poka-Yoke Accus realiza a leitura.

Portanto foi possível concluir que o Poka-Yoke estava aprovando peças acima da tolerância especificada, gerando o defeito de Sede Excêntrica na linha de produção.

Antes de dar continuidade as análises, devido a conclusão acima, foram realizadas melhorias. Foi alterado o método de medição constatado na FIP para que fosse medido conforme o Poka-Yoke, podendo então, ter um controle exato no processo. Essa mudança é observada na Figura 40.

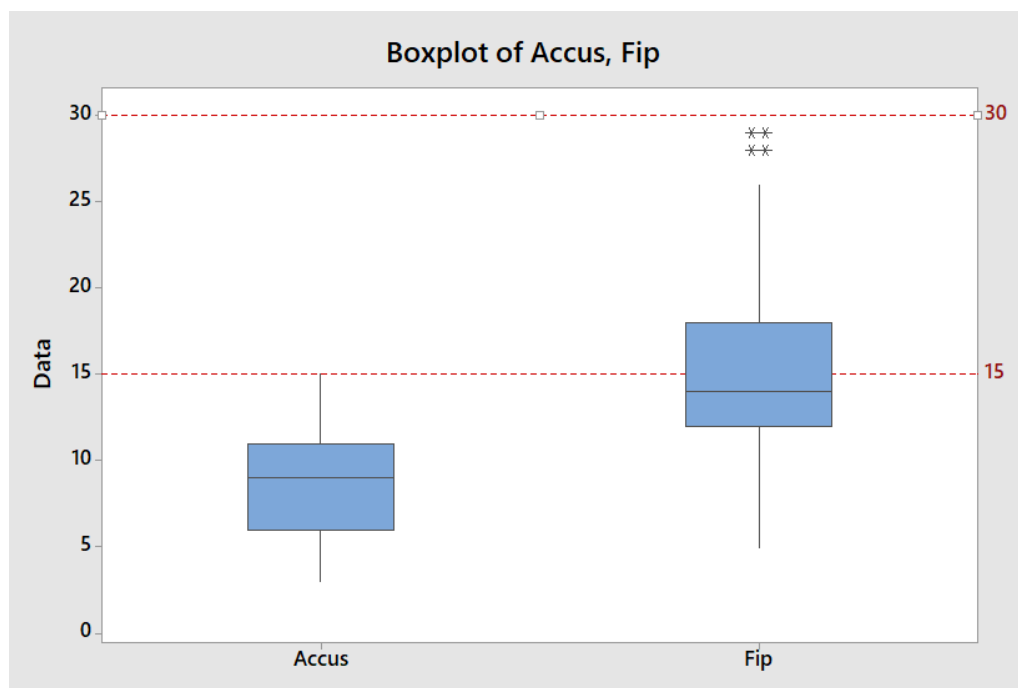
Figura 111: Alteração do método de controle na folha de instrução de processo



Fonte: Autoria própria, 2020

Além disso, os dados foram analisados juntamente com o setor de engenharia e foi definido uma nova tolerância para o Poka-Yoke Accus. A Figura 41 mostra os resultados com nova tolerância de 0,15 mm definida.

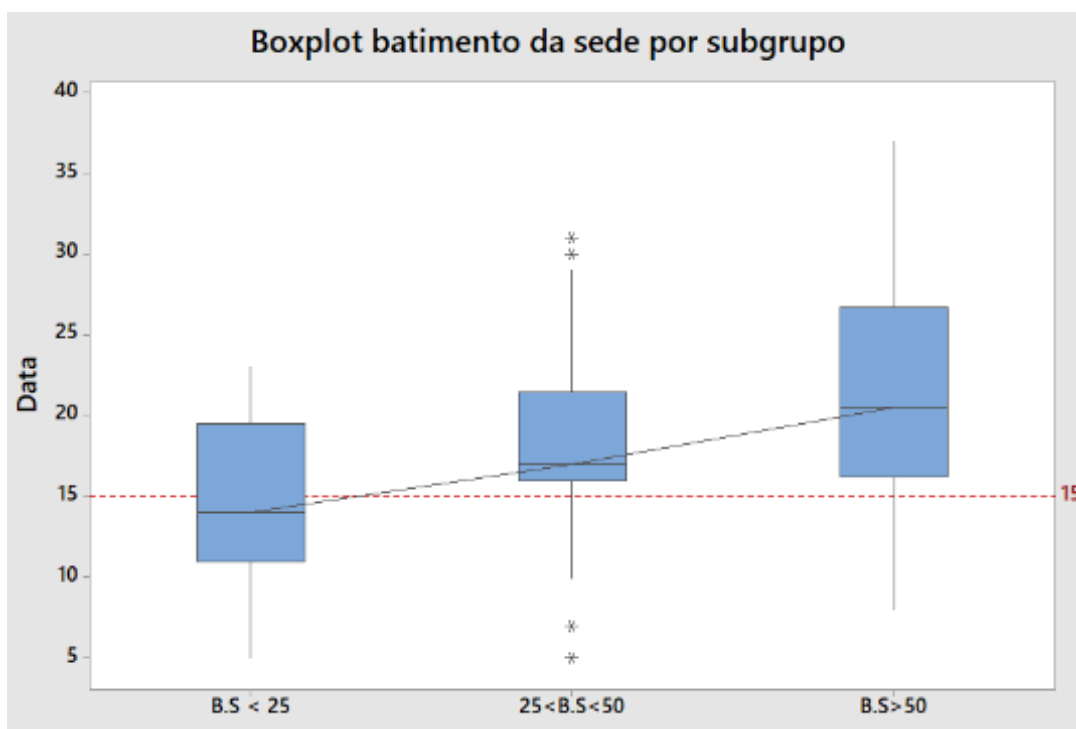
Figura 114: Definição da nova tolerância para o Poka-Yoke



Fonte: Autoria própria, 2020

É possível notar que o Poka-Yoke ajustado para tolerância de até 0,15 mm não aprovou peças com valores maiores do que 0,30 mm. Logo, evitou-se que peças com valores acima da tolerância especificada não dessem continuidade no processo. Essa melhoria foi essencial na contenção de peças fora da tolerância especificada, por isso foi feita antes mesmo de terminar a análise dos dados.

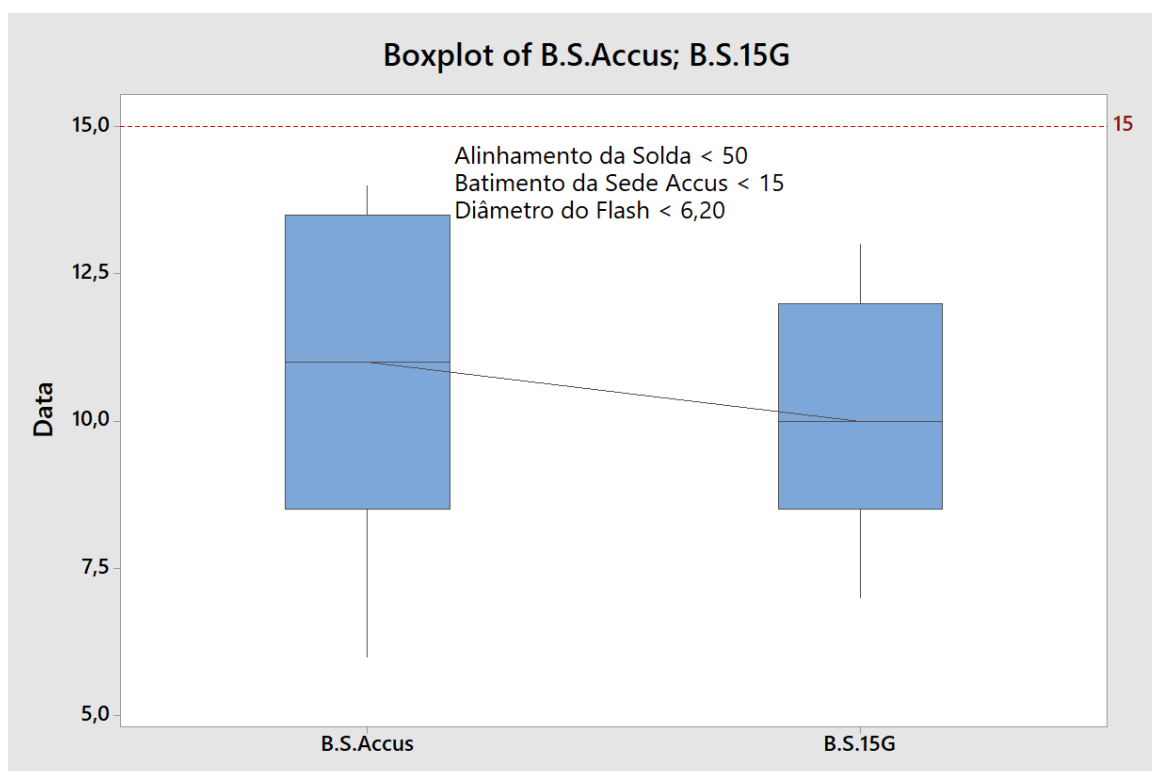
Após realizada essa melhoria, foi dado continuidade nas análises dos dados. Na Figura 42 é possível perceber que quanto maior o alinhamento da solda, maior será o batimento da sede. Porém no primeiro subgrupo, com peças de alinhamento da solda até 0,25mm percebe-se que ainda sim temos válvulas com batimento da sede fora da tolerância, o que leva a conclusão além do alinhamento da solda, outra característica interfere nos valores do batimento da sede.

Figura 117: Análise batimento da sede em relação ao alinhamento da solda

Fonte: Autoria própria, 2020

Dando sequência nas análises, filtrou-se os dados dentro das tolerâncias especificadas. Portanto foi selecionado peças com Alinhamento da Solda até 0,50 mm, Diâmetro do Flash até 6,20 mm, Batimento da Sede até 0,15 mm, Alinhamento da Haste até 0,13 mm. Com isso analisou-se a variação do Batimento da Sede no processo de retífica da haste grosseira. A Figura 43 mostra o resultado.

Figura 120: Análise da variação do Batimento da Sede com peças dentro das tolerâncias



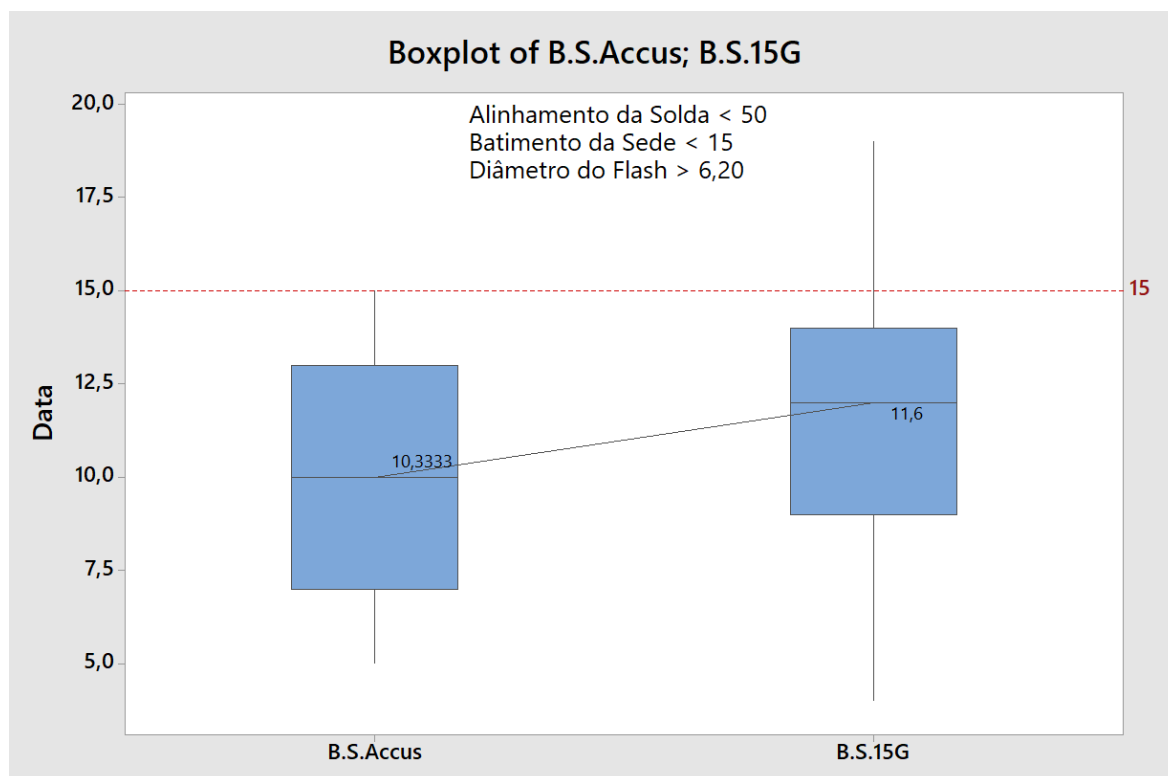
Fonte: Autorial própria, 2020

Fonte: Autorial própria, 2020

Com isso é possível concluir que para peças com todas as características dentro das tolerâncias, o processo de retífica da haste reduz a variação do batimento da sede.

Foram realizadas análises selecionando uma característica com valores fora da tolerância. Com isso percebeu-se que quando houvesse peças com diâmetro do *flash* fora do especificado e as demais características com valores dentro da tolerância, a variação do batimento da sede aumentava depois do processo de retífica da haste grosseira. É possível perceber essa mudança nos valores da Figura 44.

Figura 123: Variação do Batimento da Sede para peças com Diâmetro do Flash maiores



Fonte: Autoria própria, 2020

Conclui-se então que peças com Diâmetro do Flash maiores que 6,20 mm afetam no Batimento da Sede após 15G, pois como é mostrado na Figura 15, a haste da válvula é apoiada em uma régua no processo de retífica da haste grosseira e peças com diâmetro do flash maiores que o especificado fazem com que o flash tenha contato com a régua, gerando um ângulo entre a válvula e a régua e quando ocorre a retífica, esse erro é passado para a cabeça da válvula, causando o defeito.

4.6 ETAPA 'MELHORAR'

Após a análise dos dados, outras melhorias foram realizadas para buscar a eliminação do defeito de 'sede excêntrica'.

Outra melhoria realizada foi a confecção de padrões para realização do Setup da máquina Accus. Os operadores foram devidamente treinados e também foi disponibilizado um auxílio visual para que pudessem realizar corretamente os padrões. Essa melhoria é mostrada na Figura 45.

Figura 126: Padrões e auxílio visual para setup da máquina



Fonte: Autoria própria, 2020

Além dessa foi realizado uma alteração na ferramenta utilizada nas máquinas de solda na qual remove o excesso de sobremetal, gerando o *flash* na região da solda. A ferramenta atual utilizada para essa válvula em específico, tem um diâmetro interno de 6,30 mm e o diâmetro do flash máximo permitido é de 6,20 mm, logo o stripper atual não garante peças com valores dentro da tolerância. Portanto foi acionado a engenharia, para que fosse alterado o desenho da ferramenta para um valor que garantisse uma medida menor do que o máximo permitido, visto que a ferramenta atual não garante essa medida máxima. O valor da ferramenta passou de 6,30 mm de diâmetro para 5,90. A Figura 46 mostra a diferença do *flash* com a melhoria realizada.

Figura 129: Antes e depois da melhoria realizada na ferramenta *Stripper*

Stripper Novo: 5,9 mm

Stripper Atual: 6,3 mm



Fonte: Aatoria própria, 2020

4.7 ETAPA 'CONTROLAR'

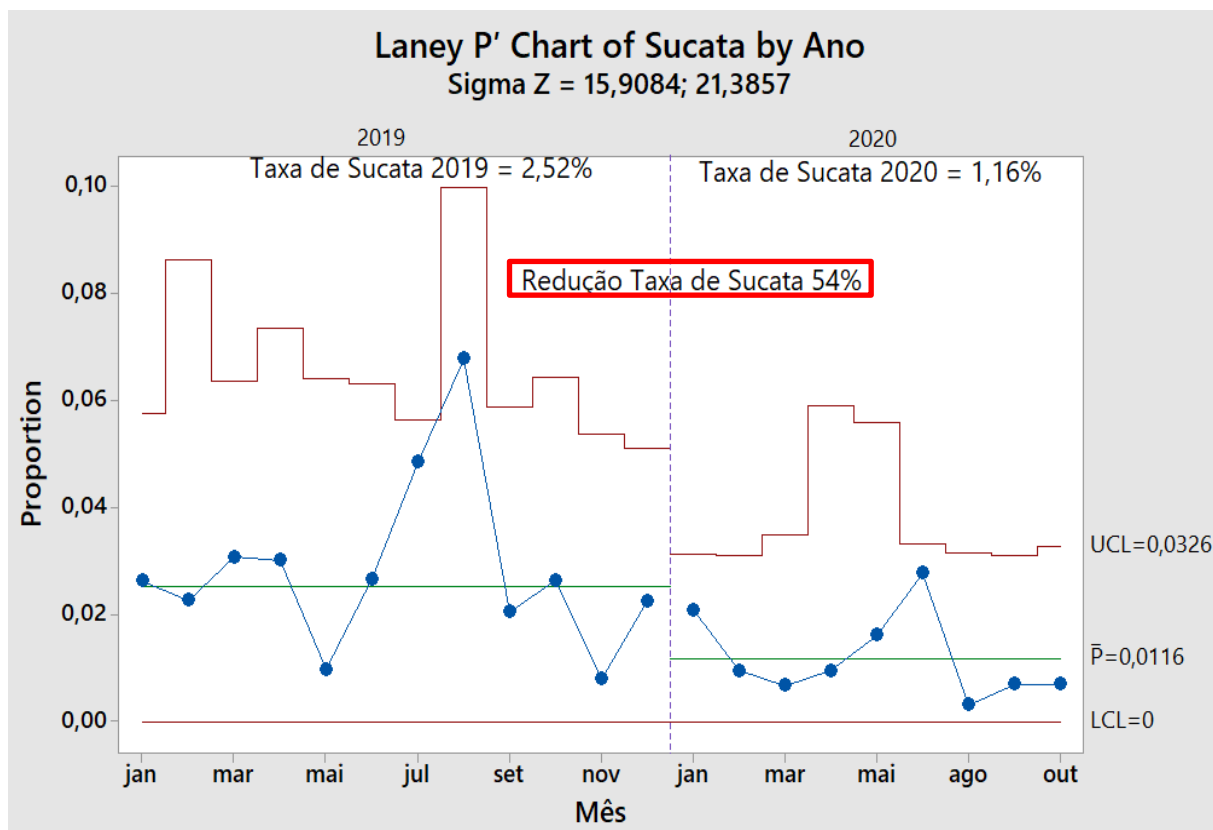
Para manter as melhorias realizadas, procedimentos foram criados como por exemplo, o controle da característica diâmetro do *flash*, no qual em um intervalo de tempo o operador deve fazer a medição dessa característica, verificar se está dentro da tolerância permitida e anotar no registro de controle. Caso a medida esteja fora, é necessário acionar o departamento de qualidade para segregar as peças produzidas até o momento e realizar uma seleção manual, evitando assim que peças fora da medida sigam adiante.

Também, foi criado um procedimento de aprovação do setup do Poka-Yoke Accus, no qual, para a realização de um setup, o operador deve pegar as peças padrões com o auditor de qualidade, e após realizado o setup, devolver as peças juntamente com um cartão contendo os valores lidos no dispositivo de medição e no Poka-Yoke Accus.

Além disso, foi proposto a instalação de um dispositivo para controle em tempo real dos valores lidos pelo Poka-Yoke diretamente do computador dos funcionários da qualidade, podendo acompanhar caso aconteça um anomalias no processo. Isso foi apenas uma proposta levada para o setor de manutenção para ser estudada a viabilidade dessa conexão.

Por fim, foi comparado os indicadores de qualidade para analisar os resultados obtidos. A Figura 47 faz a comparação da proporção de sucata pelo produzido do ano de 2019 com o ano de 2020.

Figura 131: Comparação da proporção de sucata x produzido



Fonte: Fornecido pela empresa, 2020

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista o objetivo deste trabalho que era reduzir 25% da proporção sucata pelo produzido do defeito de Sede Excêntrica da válvula V-5991, é possível afirmar as seguintes conclusões.

O objetivo do trabalho foi atingido, dado que a meta era atingir 1,89% de sucata pelo produzido e segundo o Figura 47, até o momento, atingiu-se 1,16%, ou seja, uma redução de 54%, 29% a mais que o objetivo inicial.

Tal resultado mostra a importância da utilização da metodologia Seis Sigma para realização de projetos na empresa, pois seguindo as etapas descritas, facilita a identificação da causa raiz, agilizando a solução para o problema estudado.

Como sugestões de trabalhos futuros, o desenvolvimento de um Poka-Yoke para que evite que peças com diâmetros de flash acima do especificado sejam passadas para o processo seguinte, facilitando o trabalho do operador. Também, a

instalação de um sistema de controle em tempo real das medidas realizadas no Poka-Yoke Accus, tendo um maior controle do processo, podendo tomar decisões mais rapidamente.

REFERÊNCIAS

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.

CHAKRAVORTY, S.S. 'An implementation model for lean programs', *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp.228–248, 2010.

EVANGELISTA, B. M. DE C. et al. Aplicação da metodologia dmaic em uma empresa de produção de rodas. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 15, 2019.

GIJO, E. V.; SCARIA, Johny; ANTONY, Jiju. Application of Six Sigma methodology to reduce defects of a grinding process. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 27, n. 8, p. 1221-1234, 2011.

KADRY, S. *Understanding Six Sigma: Concepts, Applications and Challenges*. New York: Nova, 2018. ISBN 9781536141740. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1924977&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 19 set. 2020.

LOON CHING TANG et al. *Six Sigma : Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts*. Chichester, England: Wiley, 2006. ISBN 9780470025833. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=190684&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 14 set. 2020.

MARTINELLI, Fernando B., *Gestão da Qualidade Total*, Fundação Biblioteca Nacional, 2009.

N, V.; S, S. Lean Six Sigma. **Six Sigma Projects and Personal Experiences**, n. June 2014, 2011.

OAKLAND, John S. *Gerenciamento da qualidade total : TQM: o caminho para aperfeiçoar o desempenho*. São Paulo, SP: Nobel, 1994. 459 p.

OHNO, Taiichi. *O sistema toyota de produção : Além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

PANGARTTE, R. Utilização de poka yoke em processo de testes na indústria eletroeletrônica. 2014.

PYZDEK, P. T. Uma ferramenta em busca do defeito zero. 2003.

PYZDEK, T.; KELLER, P. A. Seis Sigma: guia do profissional. 2011.

RAY, B., RIPLEY, P., NEAL, D., Lean Manufacturing - A Systematic Approach to Improving Productivity in the Precast Concrete Industry, Published by: PCI Journal, January-February, 2006.

Shingo, S. 1986. Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System. Massachusetts: Productivity Press.

SOARES, G. B. Utilização de controle estatístico o processo para a análise de qualidade da água em um município adjacente ao parque nacional do iguaçu. 2014.

TAGGE, E. P., Lenart, J., Thirumoorthi, A. S., Garberoglio, C., Mitchell, K. W., Improving Operating Room Efficiency in Academic Children's Hospital Using Lean Six Sigma Methodology, Journal of Pediatric Surgery, 2017.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. Criando a cultura Lean Seis Sigma. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2012. 259 p.

WOMACK, J.P., Jones, D.T. and Roos, D., 1990, A MÁQUINA QUE MUDOU O MUNDO. (Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil)

ZHAN, W.; DING, X. Lean Six Sigma and Statistical Tools for Engineers and Engineering Managers. New York, [New York] [222 East 46th Street, New York, NY 10017]: Momentum Press, 2016. v. First edition ISBN 9781606504925. Disponível em:
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1094002&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 15 set. 2020.

ZULETA DURANGO, D. A. Influência da temperatura, velocidade e forña no desgaste e no coeficiente de atrito para válvulas e sedes de válvulas de motores Flex-Fuel. p. 247, 2016.

