

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

GUSTAVO HENRIQUE KRUGER

MELHORIA DE PROCESSO PARA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE RETRABALHO NO
TORNEAMENTO DE TAMPAS FLANGE DE MOTORES ELÉTRICOS

JARAGUÁ DO SUL

Setembro de 2020

GUSTAVO HENRIQUE KRUGER

MELHORIA DE PROCESSO PARA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE RETRABALHO NO
TORNEAMENTO DE TAMPAS FLANGE DE MOTORES ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Alexandre Zammar, Me.

JARAGUÁ DO SUL

Setembro de 2020

Krüger, Gustavo Henrique

Melhoria de processo para redução do índice de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos/
Gustavo Henrique Krüger ; orientação de Alexandre Zammar.
Jaraguá do Sul, SC, 2020.
67 p.

Trabalho de conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul - Rau.
Tecnologia em Fabricação Mecânica.
Inclui Referências.

1. Ferramentas da Qualidade. 2. Torneamento. 3. Ciclo PDCA. 4.
I. Zammar, Alexandre. II. Instituto Federal de Santa Catarina.
III. Título.

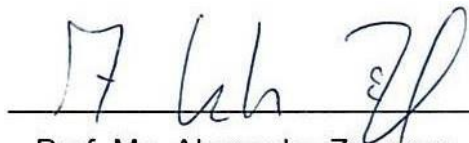
Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, por meio do
programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

GUSTAVO HENRIQUE KRUGER

MELHORIA DE PROCESSO PARA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE RETRABALHO NO
TORNEAMENTO DE TAMPAS FLANGE DE MOTORES ELÉTRICOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

Jaraguá do Sul, 16 de setembro de 2020



Prof. Me. Alexandre Zammar

Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Dr. Edson Sidnei Maciel Teixeira

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU



Prof. Dr. Gerson Ulbricht,
Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

Na atualidade as empresas buscam cada vez mais atender as exigências feitas pelos clientes, a fim de manter uma boa relação e garantir competitividade no mercado, buscando assim a melhoria de seus processos de fabricação. Para auxiliar nestas melhorias podem ser empregadas as ferramentas da qualidade, que contribuem para a análise de fatos e pesquisa de possíveis causas e soluções de problemas, além de proporcionar um maior controle dos processos. Este trabalho tem como objetivo utilizar o ciclo PDCA para reduzir o índice de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos, ocasionado devido a não garantia das tolerâncias geométricas do procedimento atual adotado. Desta forma, criou-se um planejamento para a identificação das possíveis causas do problema e baseado nestas puderam-se elaborar métodos de verificação através de testes práticos para encontrar a causa real do problema e solucioná-la. Analisando os resultados dos testes práticos obteve-se uma solução eficiente, pois se reduziu o índice de retrabalho, as especificações do cliente foram atendidas e diminuiu-se o custo total de fabricação das tampas flanges.

Palavras-Chave: Ferramentas da qualidade. Torneamento. Ciclo PDCA.

ABSTRACT

Nowadays, companies increasingly seek to meet the demands made by customers, in order to maintain a good relationship and ensure competitiveness in the market, thus seeking to improve their manufacturing processes. To assist in these improvements, quality tools can be used, which contribute to the analysis of facts and research of possible causes and solutions of problems, in addition to providing greater control of the processes. This work aims to use the PDCA cycle to reduce the rework index in the turning of electric motor flange covers, caused due to the non-guarantee of the geometric tolerances of the current procedure. In this way, a plan was created to identify the possible causes of the problem and based on these possible causes, verification methods can be developed through practical tests to find the real cause of the problem. Analyzing the results of the practical tests, an efficient solution was obtained, since the rework rate was reduced, the customer's specifications were met and the total cost of manufacturing the flange covers was reduced.

Keywords: Quality tools. Turning. PDCA cycle.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Motor Elétrico W22 IR3 | 13 |
| Figura 2 – Classificação dos Motores Elétricos | 14 |
| Figura 3 – Principais Componentes do Motor Elétrico..... | 15 |
| Figura 4 – Tipos de operações de torneamento | 17 |
| Figura 5 – Principais componentes do Torno Universal..... | 19 |
| Figura 6 – Ciclo PDCA | 22 |
| Figura 7 – Diagrama de Ishikawa..... | 24 |
| Figura 8 – Diagrama de Pareto | 25 |
| Figura 9 – Fluxograma | 26 |
| Figura 10 – Áreas da metrologia | 27 |
| Figura 11 – Afastamentos superior e inferior de uma cota | 28 |
| Figura 12 – Símbolos para característica tolerada | 29 |
| Figura 13 – Erro de forma | 30 |
| Figura 14 – Planicidade..... | 31 |
| Figura 15 – (a) Paralelismo entre retas e (b) Paralelismo entre planos..... | 31 |
| Figura 16 – Representação gráfica de repetibilidade | 32 |
| Figura 17 – Representação gráfica de reprodutibilidade | 32 |
| Figura 18 – Fluxograma da metodologia de pesquisa..... | 34 |
| Figura 19 – Tampa Flange..... | 35 |
| Figura 20 – Tolerâncias geométricas da tampa flange | 36 |
| Figura 21 – Torno vertical OKUMA V-80R | 36 |
| Figura 22 – Torno vertical DOOSAN V-850 | 37 |
| Figura 23 – Ferramenta T08..... | 38 |
| Figura 24 – Placa com seis pontos de fixação | 39 |
| Figura 25 – Placa com três pontos de fixação..... | 39 |
| Figura 26 – Placa de fixação do flange | 40 |
| Figura 27 – Relógio apalpador milesimal | 40 |
| Figura 28 – Suporte magnético articulado..... | 41 |
| Figura 29 – Fluxo ciclo PDCA | 42 |
| Figura 30 – Fluxo de processo | 43 |
| Figura 31 - Diagrama de Ishikawa..... | 44 |
| Figura 32 - Aplicação do diagrama de Pareto | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 33 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R A | 48 |
| Figura 34 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R B | 49 |
| Figura 35 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R C | 50 |
| Figura 36 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 A | 50 |
| Figura 37 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 B | 51 |
| Figura 38 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 C | 52 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Teste de Repetibilidade | 47 |
| Quadro 2 – Teste de Reprodutibilidade | 47 |
| Quadro 3 – Condições de torneamento do 1º lado..... | 53 |
| Quadro 4 – Condições de torneamento do flange..... | 54 |
| Quadro 5 - Análise de eficácia do torneamento do 1º lado..... | 56 |
| Quadro 6 - Análise de eficácia do torneamento do flange | 58 |
| Quadro 7 - Análise de viabilidade..... | 60 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 Objetivos | 12 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 12 |
| 1.1.2 Objetivo específico | 12 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 Motores Elétricos..... | 13 |
| 2.1.1 Principais Componentes do Motor Elétrico..... | 15 |
| 2.2 Usinagem | 16 |
| 2.2.1 Tornos mecânicos..... | 18 |
| 2.3 Qualidade no processo produtivo | 20 |
| 2.3.1 Ferramentas da qualidade..... | 21 |
| 2.3.1.1 Ciclo PDCA | 22 |
| 2.3.1.2 Diagrama de Ishikawa | 23 |
| 2.3.1.3 <i>Brainstorming</i> | 24 |
| 2.3.1.4 Diagrama de Pareto | 24 |
| 2.3.1.5 Fluxograma | 26 |
| 2.4 Metrologia..... | 26 |
| 2.4.1 Tolerâncias dimensionais | 28 |
| 2.4.2 Tolerâncias geométricas..... | 29 |
| 2.4.2.1 Planicidade ou Planeza | 30 |
| 2.4.2.2 Paralelismo..... | 31 |
| 2.5 Repetibilidade e Reprodutibilidade na medição | 32 |
| 3 METODOLOGIA..... | 33 |
| 3.1 Classificação de pesquisa | 33 |
| 3.2 Ambiente de pesquisa | 34 |
| 3.3 Elementos envolvidos no estudo..... | 35 |
| 3.3.1 Produto..... | 35 |
| 3.3.2 Tolerâncias geométricas..... | 35 |
| 3.3.3 Tornos verticais..... | 36 |
| 3.3.4 Ferramenta de usinagem | 38 |
| 3.3.5 Dispositivos de fixação | 38 |
| 3.3.6 Instrumentos de medição | 40 |

| | |
|--|----|
| 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 42 |
| 4.1 Aplicação do ciclo PDCA | 42 |
| 4.1.1 Fase de planejamento (P) | 43 |
| 4.1.1.1 Definição do problema..... | 43 |
| 4.1.1.2 Priorização do problema..... | 45 |
| 4.1.1.3 Elaboração do plano de ação | 46 |
| 4.1.2 Fase de execução (D) | 46 |
| 4.1.2.1 Teste de repetibilidade e reprodutibilidade | 46 |
| 4.1.2.2 Inspeção geométrica | 47 |
| 4.1.2.3 Teste de torneamento | 53 |
| 4.1.3 Fase de verificação (C) | 55 |
| 4.1.3.1 Análise dos testes de repetibilidade e reprodutibilidade | 55 |
| 4.1.3.2 Análise das inspeções geométricas..... | 56 |
| 4.1.3.3 Análise dos testes de torneamento..... | 56 |
| 4.1.4 Fase de ação (A)..... | 59 |
| 4.1.4.1 Padronização de procedimento | 59 |
| 4.2 Comparações do Método atual x Método proposto | 59 |
| Fonte: O autor (2020) | 60 |
| 5 CONCLUSÃO..... | 61 |
| REFERÊNCIAS | 63 |
| APÊNDICE A – Termo de autorização de pesquisa | 66 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas procuram se tornar mais ativas e competitivas no mercado, e para isso buscam a melhoria de seus processos de fabricação. Um fator que impulsiona as empresas a buscar cada vez mais a qualidade é o aumento das exigências dos clientes quanto à qualidade dos projetos, onde estes participam diretamente no desenvolvimento dos produtos para que haja o cumprimento das tolerâncias e dimensões específicas para sua aplicação.

Segundo Seleme e Sandler (2012), o conceito de qualidade já é um assunto abordado mundialmente, porém seus métodos e ferramentas ainda não são amplamente utilizados. Isso faz com que os produtos sejam comercializados sem a qualidade prevista pelos clientes. Desta forma podem ser empregadas as ferramentas da qualidade para melhorar a qualidade dos produtos, diminuindo os custos dos produtos e processos, garantindo uma competitividade maior no mercado.

A gestão da qualidade em uma empresa, quando feita com excelência traz muitos benefícios a ela, como, por exemplo, o aumento da satisfação dos clientes, aumentando a taxa de fidelização dos consumidores. Com a gestão da qualidade é possível tornar os processos de produção mais eficientes, reduzindo assim os custos operacionais, melhorando a produtividade dos funcionários, e aumentando a lucratividade da empresa.

A usinagem é um dos principais processos utilizados na fabricação dos componentes do motor elétrico, essencialmente na fabricação da carcaça, do eixo, das tampas traseira, dianteira e flange. Com a grande competitividade no mercado as tolerâncias dimensionais e geométricas destes componentes ficam cada vez menores.

Ao analisar o processo de usinagem de torneamento de tampas flanges de uma empresa especializada no ramo de motores elétricos, verificou-se que o índice de retrabalho destes itens foi de 100%, por não atender as tolerâncias de planicidade e paralelismo das faces usinadas. Baseado nos princípios da melhoria contínua e utilizando o ciclo PDCA, é possível diminuir o índice de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos? Neste trabalho pretende-se executar todos os passos do ciclo PDCA para verificar a possibilidade de reduzir os índices de retrabalho no torneamento de tampas flanges de motores elétricos.

Primeiramente planejou-se identificar as principais causas raízes do problema, para assim propor soluções e estabelecer um procedimento que seja efetivo, garantindo as especificações do cliente e melhorando a lucratividade da empresa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Reduzir o índice de retrabalho no torneamento de tampas flange, aplicando as ferramentas da qualidade para resolução dos problemas.

1.1.2 Objetivo específico

- Identificar as possíveis causas de retrabalho na usinagem das tampas flange.
- Classificar e analisar as causas de maior importância.
- Propor melhorias para o processo conforme análises realizadas.
- Reduzir o custo total de fabricação das peças.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica serão apresentadas algumas definições e conceitos referentes a assuntos que são essenciais para a elaboração do seguinte trabalho.

2.1 Motores Elétricos

Segundo Franchi (2008) e Alves (2010), o motor elétrico é uma máquina que transforma uma energia elétrica de entrada em uma energia mecânica de saída, ou seja, quando o motor recebe uma corrente elétrica é gerado um campo magnético que induz o movimento de rotação no eixo, que pode ser aplicado de diversas formas. Na Figura 1 pode-se verificar a ilustração de um motor elétrico.

Figura 1 Motor Elétrico W22 IR3



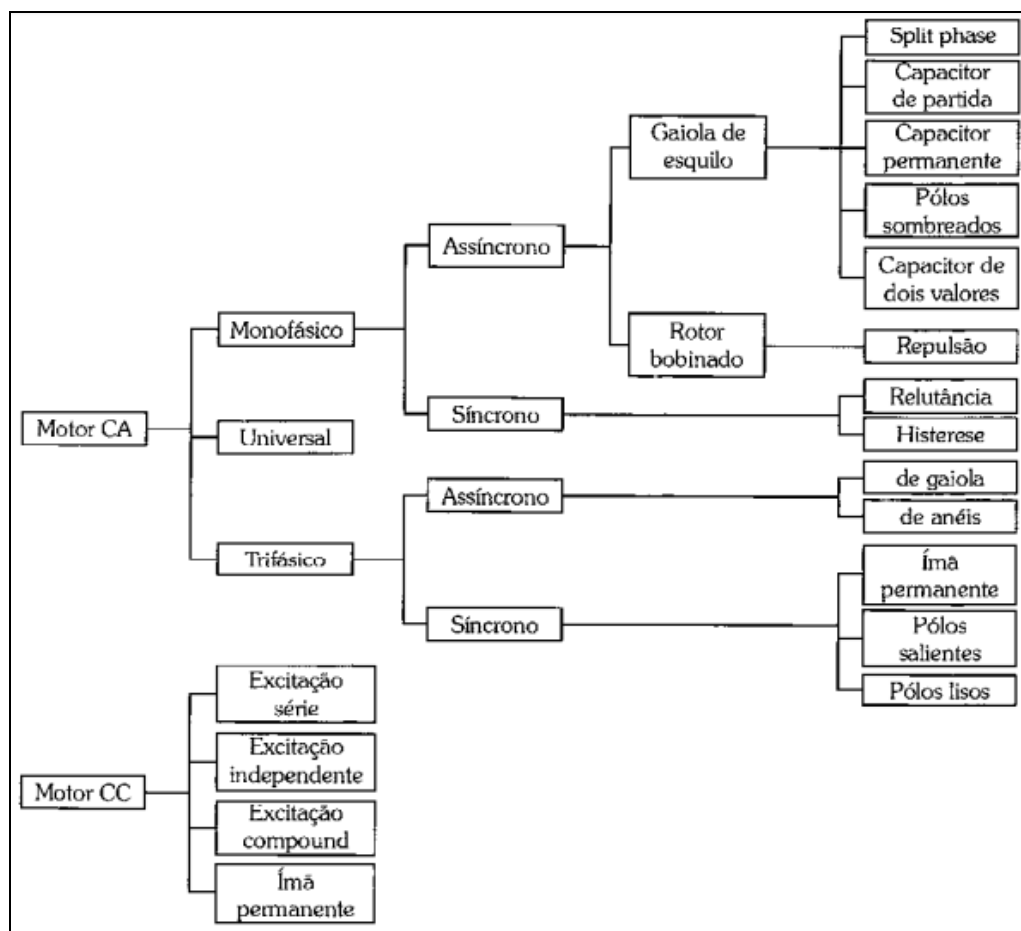
Fonte: Adaptado de Weg A (2020)

Conforme Petruzella (2013), os motores elétricos vêm tendo um papel importante dentro da economia mundial há mais de um século. A maior parte das máquinas industriais utilizadas atualmente são acionadas por motores elétricos e sem eles, muitas das empresas deixariam de prestar seus serviços.

Segundo Franchi (2008), avalia-se que cerca de 70 a 80% da energia elétrica gasta no mundo é transformada em energia mecânica pelos motores elétricos dentro do ramo de acionamentos industriais. Estima-se que o mercado internacional de motores elétricos ultrapasse a casa de uma dezena de bilhões ao ano.

Conforme Petruzella (2013), os motores elétricos podem ser classificados de acordo com o tipo de corrente que os alimenta, podendo ser por corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Classificação dos Motores Elétricos



Fonte: Adaptado de Franchi (2008)

Conforme Petruzella (2013), os motores de corrente contínua são empregados nas indústrias devido a fácil manipulação da relação torque-velocidade. Sua velocidade pode ser controlada até zero e posteriormente seguir com uma aceleração na direção oposta, podendo atingir um torque até cinco vezes maior que o nominal. Os motores de corrente contínua são aplicados em situações onde são exigidas paradas repentinas, reduzindo ou eliminando o uso do freio mecânico.

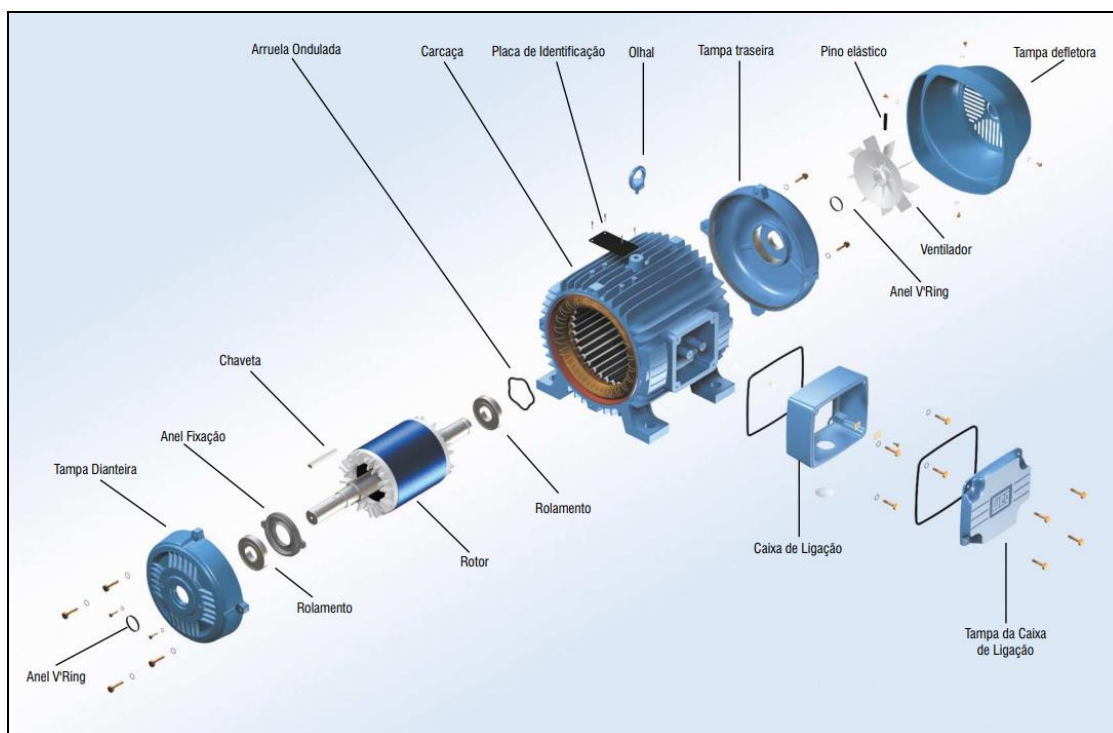
Os motores de corrente alternada são os mais utilizados atualmente, representando cerca de 90% dos motores instalados. Estes por sua vez são divididos em dois tipos, os motores monofásicos e os trifásicos. Os motores monofásicos são fabricados para atender uma potência para tensões de 120 a 240V

e frequência de 60Hz. Este motor possui dois enrolamentos, um de partida e outro principal. Já os motores trifásicos são empregados quando necessárias altas potências de trabalho. Suas bobinas são enroladas individualmente, porém conectadas, formando as fases A, B e C. Estes podem ser conectados nas configurações estrela (Y) e triângulo (Δ) (PETRUZELLA, 2013).

2.1.1 Principais Componentes do Motor Elétrico

Segundo Oliveira (2009), embora existam diversas maneiras de fabricação e alimentação, os motores seguem o mesmo princípio de funcionamento, baseado no eletromagnetismo. Neste contexto, existem alguns componentes principais presentes nos motores, sendo eles, o estator, rotor, caixa de ligação, ventilador e tampas. Na Figura 3 é possível verificar os componentes de um motor.

Figura 3 – Principais Componentes do Motor Elétrico



Fonte: Adaptado de Weg B (2020)

O estator é composto por três elementos: a carcaça, que serve como proteção ao ambiente e aos agentes externos, além de possuir aletas para passagem de ar, que contribuem com a refrigeração do motor. Outro elemento é o núcleo magnético que irá formar os polos do motor, ele é formado por uma série de chapas

estampadas e posteriormente prensadas. E o enrolamento fará com que a corrente elétrica flua para o motor se magnetizar (OLIVEIRA, 2009).

Conforme Alves (2010), o rotor é composto por uma série de chapas prensadas assim como o estator, possuindo um formato de um anel, com enrolamentos alojados longitudinalmente.

Segundo Oliveira (2009), a caixa de ligação é onde ocorre a alimentação do motor, portanto deve ser protegida do ambiente externo. Por questões de segurança a entrada de cabos é toda vedada e o material da caixa é o mesmo utilizado na carcaça, a fim de evitar agressões mecânicas. O ventilador tem a função de realizar a refrigeração do motor, para garantir a melhor eficiência dele.

As tampas têm a função de proteger o motor do ambiente externo. A tampa dianteira pode ser um flange, sendo utilizada para realizar o acoplamento do motor. A tampa traseira quando o motor é do tipo aberto, possui rasgos para passagem de ar. Essas tampas possuem encaixes para os rolamentos do eixo (OLIVEIRA, 2009).

2.2 Usinagem

De acordo com Ferraresi (1970), a usinagem é um processo mecânico que transforma um material bruto em uma peça com outra forma, dimensão e acabamento, devido o corte de uma ferramenta. O material que é removido durante o corte é chamado de cavaco e possui forma irregular.

Existem diversos motivos pelos quais a usinagem pode ser escolhida para a fabricação de peças, uma delas é que a usinagem engloba as máquinas junto à indústria metalmeccânica. As principais máquinas utilizadas para fabricação de peças são os tornos, fresadoras, furadeiras, retificadoras, centros de usinagem, etc. (LESKO, 2004).

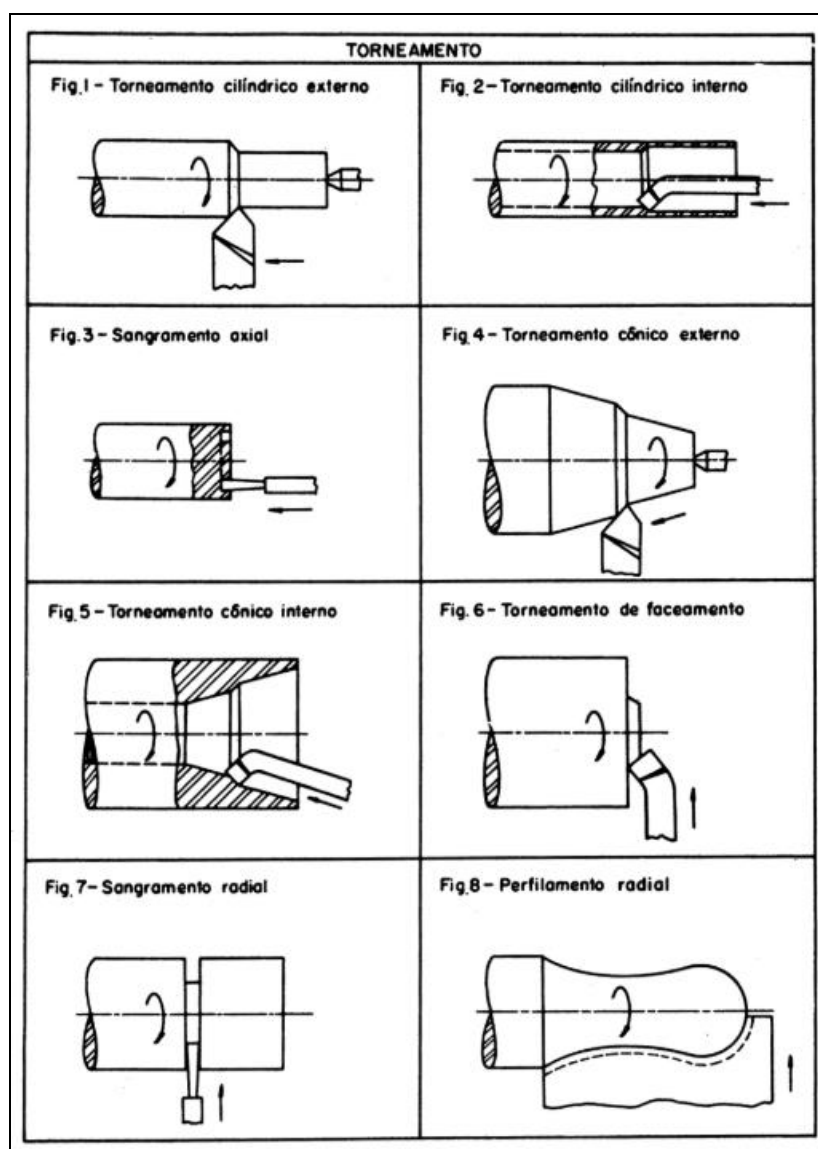
Segundo Stoeterau (2004), a usinagem está presente na maior parte dos produtos industrializados, aparecendo direta ou indiretamente em pelo menos uma etapa do processo de fabricação destes. Abaixo podemos ver alguns exemplos da utilização da usinagem:

- Aproximadamente 80% dos furos.
- Aproximadamente 100% dos processos de melhoria superficial.
- Aproximadamente 70% das engrenagens para transmissão de potência.

- Aproximadamente 90% dos componentes da indústria aeroespacial.
- Aproximadamente 70% das lentes de contato.

Conforme Ferraresi (1970), uma das principais operações de usinagem é o torneamento, que é uma operação que consiste na remoção de material por uma ferramenta cortante para obtenção de uma peça circular. Nesse processo segundo Stoeterau (2004), a peça é fixa em um torno e gira em torno de seu próprio eixo enquanto a ferramenta cortante se desloca simultaneamente em uma determinada trajetória. Na Figura 4 é possível ver alguns tipos de operações de torneamento, onde se destacam o torneamento cilíndrico externo e faceamento.

Figura 4 – Tipos de operações de torneamento



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970)

Segundo Ferraresi (1970), o torneamento radial ou de faceamento é quando a ferramenta se desloca numa trajetória que deixa a face da peça plana e perpendicular à linha de centro do eixo da máquina. Já o torneamento cilíndrico externo é quando a ferramenta corta o material se movendo em uma trajetória paralela ao centro do eixo da máquina.

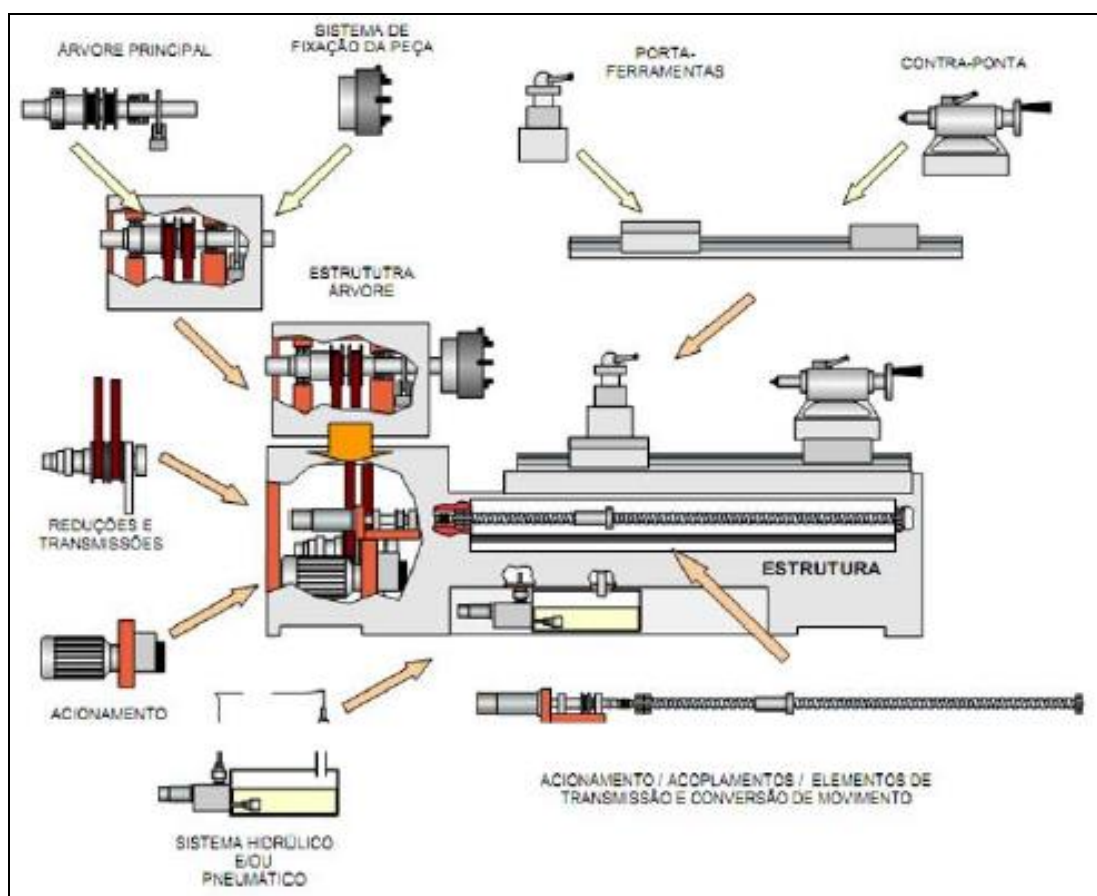
De acordo com Ferraresi (1970), no processo de usinagem acontece devido a três principais tipos de movimento, o movimento de corte, de avanço e movimento efetivo de corte. O movimento de corte é quando há apenas uma remoção de cavaco sem que haja movimento de avanço. O movimento de avanço é aquele que juntamente com o movimento de corte faz com que haja o corte contínuo do cavaco. Já o movimento efetivo de corte é quando os dois movimentos anteriores atuam simultaneamente.

2.2.1 Tornos mecânicos

Segundo Bernardini (2019), o torno mecânico é uma máquina operatriz muito utilizada nas indústrias, por ser uma máquina versátil e que não necessita de muita habilidade por parte do operador, o que a torna uma boa escolha para a execução de serviços especiais.

O funcionamento do torno mecânico se dá pela fixação da peça à uma placa, a placa por sua vez está fixa à um eixo da máquina que possui movimento circular. Então uma ferramenta cortante, fixa em um suporte com movimento linear, executa a remoção do material da peça. As peças fabricadas nesta máquina possuem forma cilíndrica e dimensões variáveis. Os tornos mais encontrados são o universal, vertical, automático e CNC. Na Figura 5 podem-se verificar as principais partes de um torno universal.

Figura 5 – Principais componentes do Torno Universal



Fonte: Adaptado de Stoeterau (2004)

Os tornos CNC (comando numérico computadorizado) são máquinas que permitem um grande controle de movimentação, permitindo controlar simultaneamente diversos eixos através de uma programação das trajetórias escritas num código, chamado Código G. Estas máquinas permitiram uma grande evolução das indústrias em relação a produtividade, precisão e fabricação de peças mais complexas. (SEVERINO, 2011)

De acordo com Machado et al. (2009), o torno CNC possui um eixo transversal e outro longitudinal, um eixo árvore (placa) onde é realizada a fixação das peças. Existe uma torre de ferramentas que realiza o armazenamento e a troca das ferramentas quando solicitado na programação. A máquina ainda possui um sistema hidráulico, que realiza a movimentação dos eixos e da torre de ferramentas, e uma unidade de lubrificação, que faz a lubrificação periódica na máquina.

2.3 Qualidade no processo produtivo

Segundo Oliveira (1996), a qualidade é definida como uma correção de problemas ou de suas causas ao longo de toda fase da criação de um produto, desde o projeto, engenharia, produção, manutenção e *marketing*, ou seja, todos os fatores que tem influência com o cliente. A qualidade tem por função identificar e corrigir as não conformidades de um produto.

Conforme Marrafa (2006), as não conformidades são deficiências encontradas no produto, desde uma característica, especificação, parâmetro de processo ou procedimento que torna a qualidade inadmissível, fora das especificações estabelecidas previamente. Julga ainda que o gerenciamento adequado das não conformidades é essencial para um sistema de qualidade ter êxito. Uma não conformidade é algo que pode ocorrer num processo, porém é fundamental que seja resolvido o mais breve possível e que não ocorra novamente o desvio.

Por um longo período segundo Paladini (2012), a qualidade foi mensurada de acordo com os produtos e serviços, a atenção sempre focada nos resultados das tarefas. Existia a percepção de que era desta maneira que os clientes avaliavam as empresas. Desta forma as empresas concentravam seus esforços na análise da qualidade final do produto.

O esforço para melhorar a qualidade do processo produtivo criou uma nova fase para a qualidade. Com isso criaram-se novas práticas e prioridades, destacando mais a análise das causas e não mais aos efeitos. Nesse contexto surge a gestão da qualidade dos processos, baseada em encaminhar todas as tarefas do processo produtivo para atender as especificações do cliente. Considerando esta definição, para se implantar tal gestão são necessários seguir algumas atividades, como a eliminação de perdas ou defeitos, a eliminação das causas das perdas e a otimização dos processos. É possível observar que as etapas citadas evoluem a fim de adequar o produto ao uso, ou seja, eliminando os defeitos pode-se garantir que o produto será utilizado, eliminando as causas tem-se maior confiança no produto e otimizando o processo garante-se maior eficiência.

A prática inadequada desta gestão da qualidade pode mostrar alguns pontos negativos na produção, dentre eles estão:

- Desorganização do processo produtivo;
- Custos elevados de produção;
- Necessidade frequente de retrabalho;
- Paralisações constantes nos processos;
- Incapacidade de prever o tempo de execução das tarefas;

De acordo com Gozzi (2015), a melhoria de um processo deve ser entendida como uma maneira de reduzir desperdícios, sejam eles de tempo, recursos materiais ou humanos, melhorando assim a qualidade de seus produtos. Essa aplicação leva à identificação de problemas, elaboração de soluções, propondo mudanças no processo, diminuindo assim os desperdícios, retrabalhos e os custos.

2.3.1 Ferramentas da qualidade

De acordo com Paladini (1997), as ferramentas da qualidade são esquemas de funcionamento, mecanismos de operação, formulações práticas, que tornam viável a implantação da qualidade total. Cada ferramenta pode ser utilizada em um ponto específico do projeto ou processo. As ferramentas possuem ênfases específicas que podem analisar determinados processos produtivos e identificar problemas, prever soluções, assim melhorando a qualidade dos produtos.

Como o conceito de qualidade teve uma evolução, as ferramentas seguiram pelo mesmo caminho, partindo de modelos estatísticos para matrizes, que aparentemente parecem mais complexas para serem postas em prática, porém são de fácil compreensão, e trazem grandes resultados.

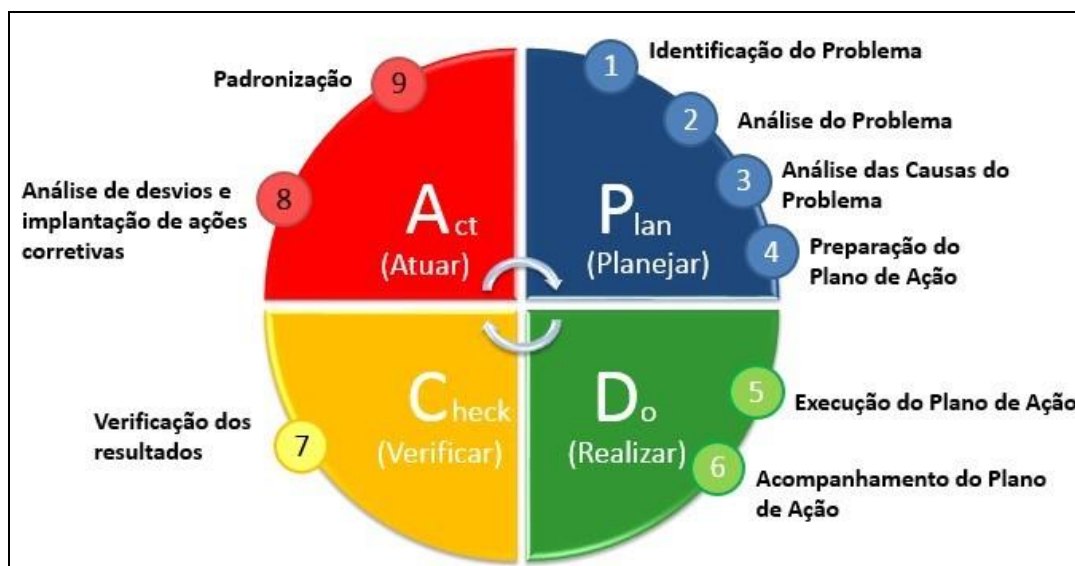
De acordo com Lins (1993), as ferramentas são divididas em dois grupos específicos, o primeiro grupo é o das ferramentas básicas da qualidade, que auxiliam na descoberta dos problemas e soluções para estes, algumas destas ferramentas são: o fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, entre outros. O segundo grupo é o de ferramentas auxiliares, que servem como complemento das ferramentas básicas, como por exemplo, o *brainstorming*, termo que significa tempestade de ideias, é utilizado muitas vezes em conjunto com o diagrama de Ishikawa para encontrar as possíveis causas de um problema.

2.3.1.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Deming, é uma metodologia com a função de auxiliar na análise e controle de problemas organizacionais, sendo útil para solução de problemas. São poucas as metodologias que trazem tamanho benefício para a melhoria contínua, tendo como meta guiar as ações para uma melhoria dos processos, ganhando assim resultados melhores e fazendo com que as empresas sobrevivam e cresçam (QUINQUIOLO, 2002).

O ciclo PDCA é uma ferramenta utilizada na resolução de problemas e segundo Deming (1990), é composta por quatro etapas denominadas *Plan* (Planejamento), *Do* (Execução), *Check* (Verificação) e *Action* (Ação), como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Ciclo PDCA



Fonte: Adaptado de Silva (2017)

- *Plan* (Planejamento): Consiste na identificação do problema, análise do problema, análise das possíveis causas desse problema e a elaboração de um plano de ação.
- *Do* (Execução): Consiste na execução da tarefa planejada anteriormente a fim de atingir os objetivos estabelecidos.
- *Check* (Verificação): Consiste na verificação dos resultados do plano executado e a comparação destes com o que foi planejado.

- *Action* (Ação): Consiste em corrigir o que for necessário para melhorar o processo e quando os objetivos forem alcançados padronizar os procedimentos.

Segundo Dennis (2008), a etapa inicial na aplicação do ciclo PDCA é a identificação e análise do problema, e em sequência estabelecer os objetivos. Em seguida propor possíveis soluções e planejar uma forma de pô-las em prática. Posteriormente é feita a avaliação dos resultados, quando positivos é feita a padronização e retomado o ciclo para melhorias posteriores. Assim conforme Aguiar (2006) diz, o PDCA pode melhorar a qualidade, por meio de resultados e o planejamento da qualidade, propor mudanças rápidas que sejam benéficas para os processos, podendo ser implantado em qualquer setor de uma empresa.

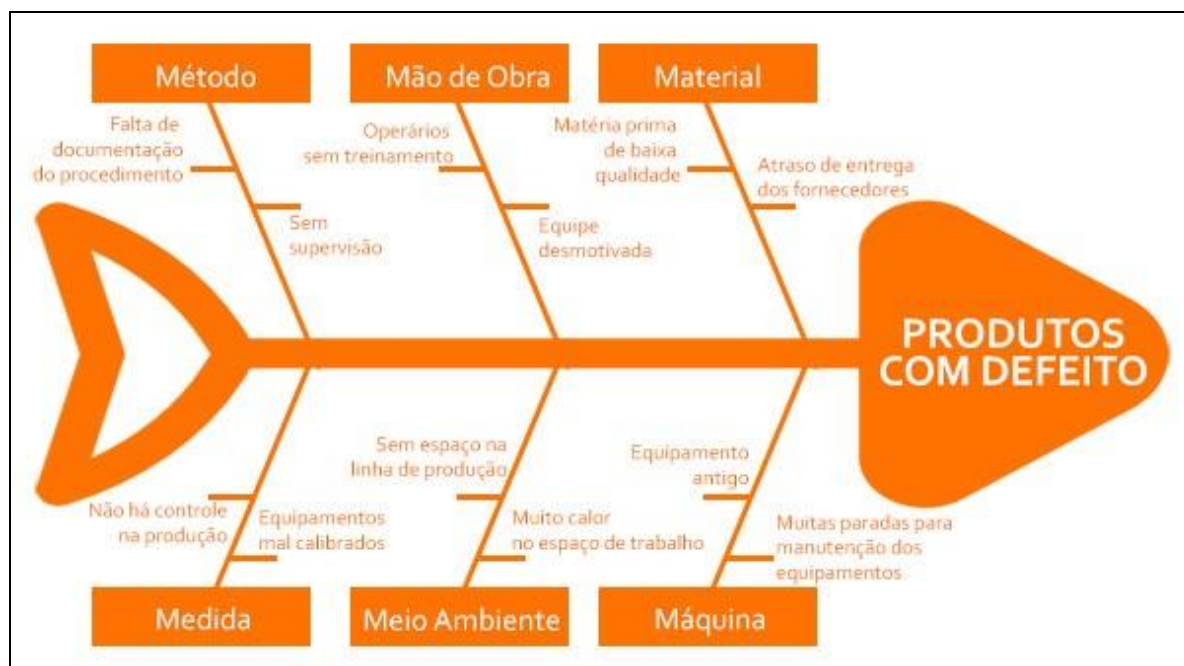
2.3.1.2 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, é uma ferramenta visual que por meio de um gráfico cria uma série de possíveis causas para um determinado problema, e para cada tipo de problema, o diagrama exibe uma propriedade da qualidade (efeito) e os seus fatores (causas) (PALADINI, 2004).

Segundo Werkema (1995), o diagrama de Ishikawa é utilizado para relacionar o resultado de um processo com os fatores que podem influenciá-lo.

Conforme Paladini (1997) é construído primeiramente identificando o problema existente, e colocando-o do lado direito do diagrama. A forma como as causas são agrupadas nesse diagrama geralmente seguem o chamado diagrama 6M's (Mão de obra, Método, Medida, Máquina, Meio ambiente e Material) (SILVA, 2012; BEHNAM 2011; GWIAZDA 2006). Na Figura 7 pode ser visto como é feita a estruturação de um diagrama de Ishikawa.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Lean Blog (2018)

2.3.1.3 Brainstorming

De acordo com Lins (1993), a técnica de *brainstorming* é uma reunião de um grupo de pessoas com o intuito de buscar ideias inovadoras sem que haja o julgamento destas. O objetivo dessa técnica é aumentar o fluxo de ideias, bem como, a criatividade e a capacidade analítica do grupo.

O *brainstorming* é realizado em duas etapas, sendo a primeira a geração máxima de ideias referentes a um problema, sem que haja algum julgamento ou crítica sobre elas, para que isso ocorra, uma pessoa do grupo é responsável por coordenar o grupo. A segunda etapa se dá quando não há mais ideias referentes à pauta, então é feito um agrupamento e ordenação das ideias, que em seguida pode ser aplicada a outras ferramentas como o diagrama de Ishikawa, folha de verificação, entre outras.

2.3.1.4 Diagrama de Pareto

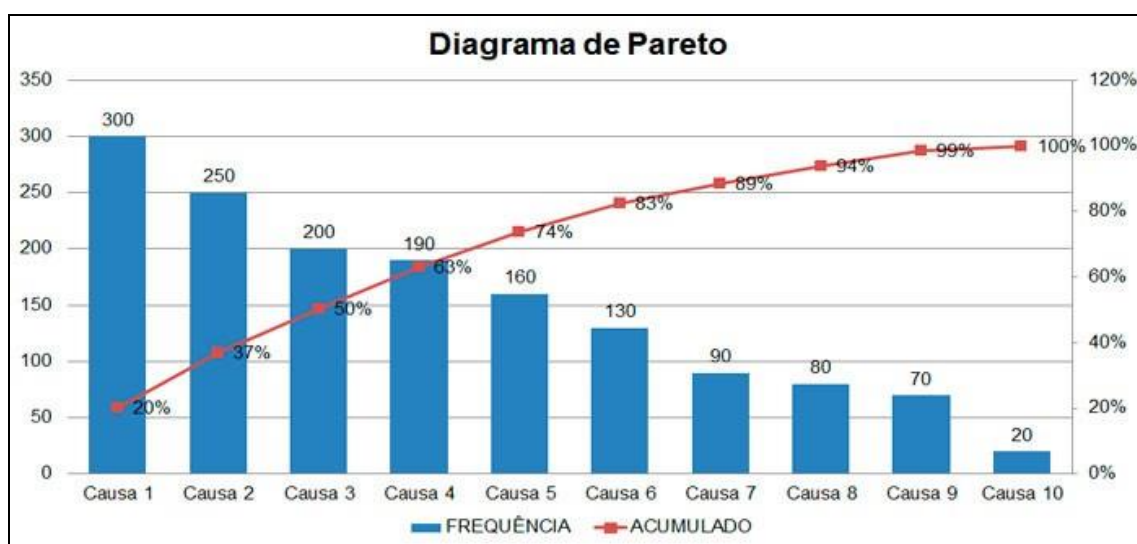
O diagrama de Pareto de acordo com Sales (2013) é um gráfico de barras utilizado para encontrar os problemas com maior grau de importância. Esse diagrama aplica o princípio de Pareto que diz que 80% dos resultados totais se

originam de 20% dos elementos, ou seja, esse diagrama facilita a visualização dos pequenos problemas que geram os maiores resultados, fazendo com que haja a concentração de esforços sem desperdício de recursos. Abaixo podemos verificar alguns exemplos:

- O menor número de clientes que geram o maior número de vendas;
- O menor número de produtos ou processos que gera o maior número de desperdícios ou retrabalhos;
- A minoria de rejeições que gera o maior número de reclamações dos clientes;
- A minoria de produtos que gera o maior lucro;
- A minoria de problemas que geram o maior atraso de uma atividade;
- A menor parte dos itens que geram o maior custo de um estoque;

Como pode ser visto na Figura 8, o diagrama de Pareto identifica as causas ou problemas colocando-as em ordem decrescente na linha de produção, sendo da Causa 1 (maior problema) até a Causa 10 (menor problema). Nas escalas verticais são separados os problemas em função da frequência ou acumulado dos acontecimentos.

Figura 8 – Diagrama de Pareto



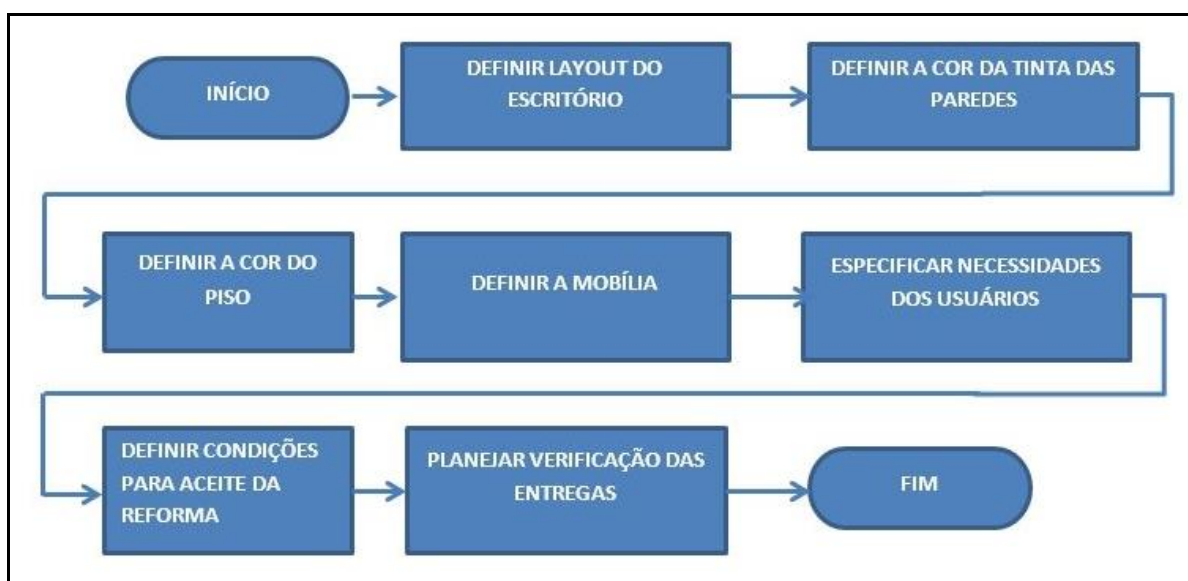
Fonte: Marcondes (2016)

2.3.1.5 Fluxograma

Segundo Lins (1993), o fluxograma é uma ferramenta destinada a descrever um determinado processo, sendo o processo um conjunto de atividades, pessoas, métodos, ferramentas, matéria prima que cria um produto ou serviço.

De acordo com Paladini (1997), os fluxogramas são geralmente utilizados em programações computacionais, porém dentro da área de qualidade são empregados para determinar um fluxo de operações, ou seja, descrever as etapas de um processo. Os fluxogramas podem ser feitos por meio de símbolos padronizados que identificam cada operação, sendo ela primária, secundária, uma tomada de decisão, entre outras. Na Figura 9 mostra-se a estruturação de um fluxograma.

Figura 9 – Fluxograma



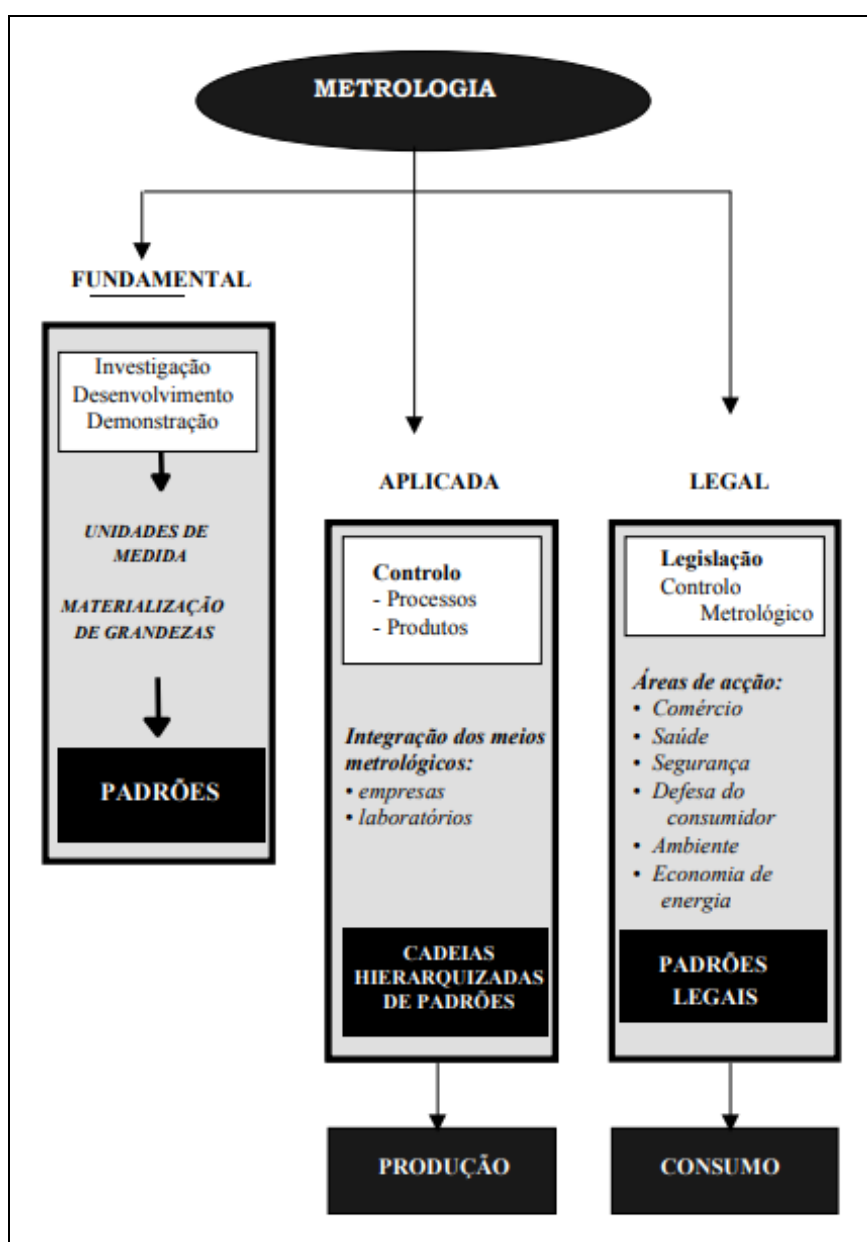
Fonte: Adaptado de Junior (2015)

2.4 Metrologia

Metrologia é definida como a ciência que estuda as medições, levando em consideração todos os aspectos práticos e teóricos referentes à medição, não importando o grau de incerteza, em qualquer campo da ciência ou tecnologia (CNI; SENAI; INMETRO, 2000).

De acordo com Sousa (2008), a metrologia pode ser categorizada em três grandes áreas, a metrologia fundamental, aplicada e legal, conforme Figura 10.

Figura 10 – Áreas da metrologia



Fonte: Adaptado de Sousa (2008)

Conforme Sousa (2008), a metrologia fundamental, também conhecida como científica, tem por função a realização das unidades de medida, definindo e padronizando-as, recorrendo a outras ciências se necessário. Esta categoria da metrologia é independente de outras organizações em relação à rastreabilidade. Uma das organizações responsáveis pela padronização das unidades de medida é o Sistema Internacional de Unidades (SI).

A metrologia aplicada ou industrial é a que realiza as medições na produção ou transformação de bens, ou seja, se trata das medições realizadas nas fábricas

em processos de fabricação, como por exemplo, a medição de diâmetro de um eixo, garantindo o controle de qualidade dos produtos e serviços. Ela se baseia em padrões de medidas estabelecidos pelos laboratórios nacionais ou internacionais.

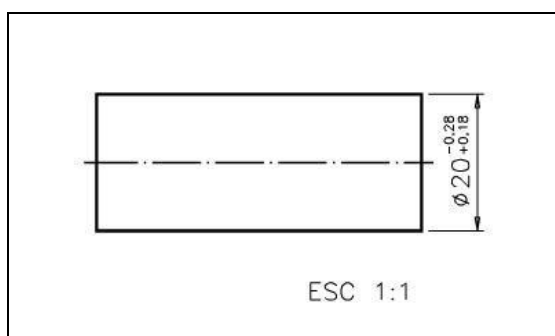
A metrologia legal está associada a agentes econômicos ligados ao setor público, fazendo com que haja o cumprimento das legislações ligadas ao comércio, saúde e segurança dos cidadãos, utilizando os mais diversos instrumentos de medição, como por exemplo, as balanças, taxímetros, radares, contadores de energia, entre outros.

2.4.1 Tolerâncias dimensionais

As cotas que são indicadas em um desenho técnico são chamadas de nominais. Porém por uma série de motivos de fabricação como as precisões dimensionais oferecidas em máquinas e ferramentas, deformação do material, falhas de operadores, não é possível atingir exatamente as dimensões exigidas no desenho. Por esse motivo, foram criados os desvios de tolerância, chamados de afastamentos, podendo ser superior ou inferior. Esses são desvios aceitáveis em relação à dimensão nominal do desenho, garantindo que haja o perfeito funcionamento da peça sem prejuízos (CATAPAN, 2013).

De acordo com Almacinha (2016), a tolerância dimensional é considerada a diferença entre os afastamentos superior e inferior da tolerância de uma dimensão. A tolerância não possui sinal e é de grandeza absoluta. A tolerância pode ser ainda, bilateral ou unilateral (quando o valor do afastamento de um lado for igual à zero), e o intervalo da tolerância não precisa incluir o valor nominal. Na Figura 11 pode-se verificar como são indicados os afastamentos superior e inferior em uma dimensão.

Figura 11 – Afastamentos superior e inferior de uma cota

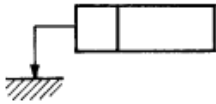

















Fonte: Adaptado de Fonseca (2010)

2.4.2 Tolerâncias geométricas

De acordo com ABNT (1997), citado na norma NBR 6409, as tolerâncias geométricas podem ser divididas em quatro grandes grupos, as tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Símbolos para característica tolerada

| Característica tolerada | | Símbolo | |
|--|------------|-------------------------------|---|
| Para elementos isolados  | Forma | Retitude |  |
| | | Planeza |  |
| | | Circularidade |  |
| | | Cilindricidade |  |
| Para elementos isolados ou associados | | Perfil de linha qualquer |  |
| | | Perfil de superfície qualquer |  |
| Para elementos associados | Orientação | Paralelismo |  |
| | | Perpendicularidade |  |
| | | Inclinação |  |
| | Posição | Posição |  |
| | | Concentricidade |  |
| | | Coaxilidade |  |
| | | Simetria |  |
| | Batimento | Circular |  |
| | | Total |  |

Fonte: Adaptado de ABNT (1997)

As tolerâncias de forma segundo Fitzpatrick (2013) são utilizadas para manter as peças com uma superfície uniforme. As tolerâncias de forma conhecidas são: retitude, planeza, circularidade, cilindridade, perfil de linha qualquer e perfil de superfície qualquer.

As tolerâncias de orientação se referem ao valor permitido de tolerância de uma peça em relação a sua posição geométrica teórica, estabelecida pelo produto.

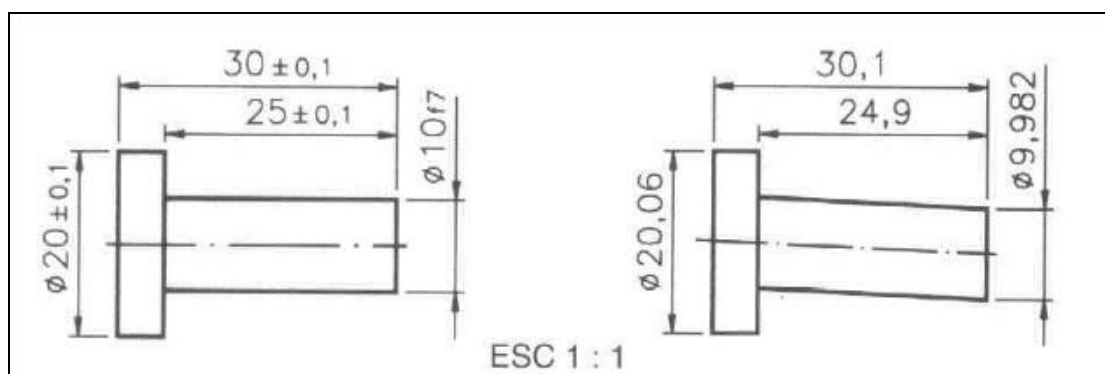
As tolerâncias de orientação são formadas pelo paralelismo, perpendicularidade e inclinação.

As tolerâncias de posição podem ser determinadas como desvios permissíveis de um elemento qualquer, como um furo, em relação à posição teórica deste. Nas tolerâncias de posição estão inseridas as de posição, concentricidade, coaxialidade e simetria.

As tolerâncias de batimento podem ser definidas como um desvio tolerável do batimento correspondente à leitura total do indicador do relógio comparador ao redor de uma peça. As tolerâncias correspondentes a este grupo são batimento circular e total.

Segundo Catapan (2013), uma peça fabricada dentro da tolerância dimensional projetada não garante o funcionamento desta. Na Figura 13 é possível verificar que a peça da direita está dentro dos limites de tolerância, porém está muito diferente da peça do projeto à esquerda.

Figura 13 – Erro de forma

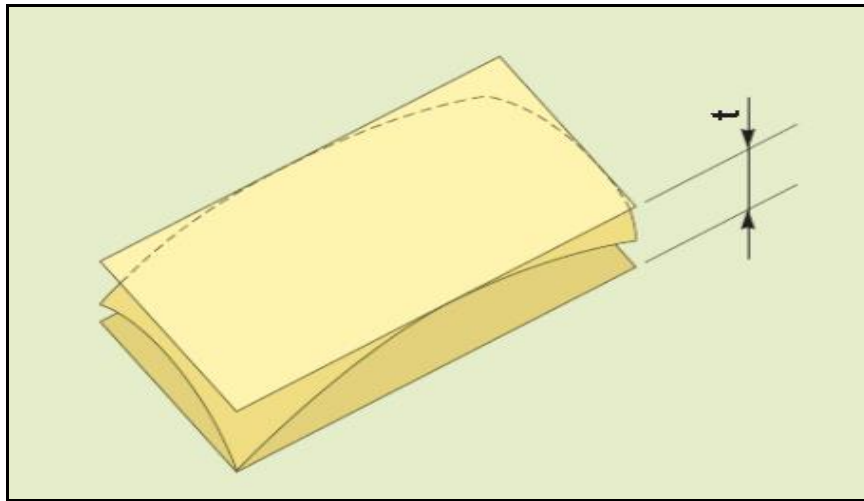


Fonte: Adaptado de Catapan (2013)

2.4.2.1 Planicidade ou Planeza

Conforme Catapan (2013), a planicidade é uma das principais medições para se garantir uniformidade de uma superfície, sendo uma superfície plana aquela que está em todos os seus pontos no mesmo plano. Isso é algo que é possível apenas em teoria, por isso, segundo Fonseca (2010), a planicidade está limitada a uma zona de tolerância t compreendida entre dois planos paralelos conforme a Figura 14.

Figura 14 – Planicidade



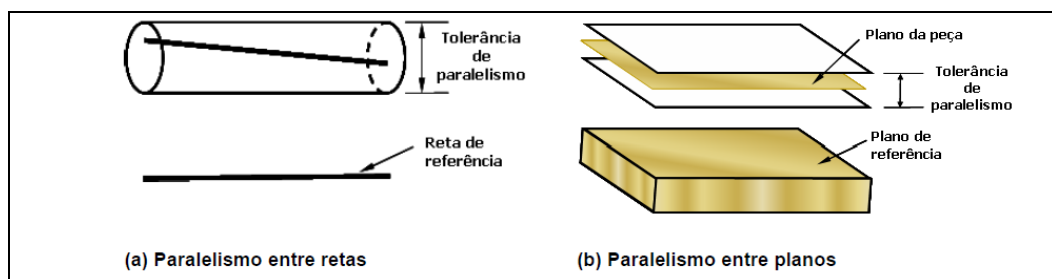
Fonte: Adaptado de Fitzpatrick (2013).

2.4.2.2 Paralelismo

Conforme Catapan (2013), o paralelismo é um tipo de desvio cuja tolerância é definida quando existe uma linha reta ou um plano, que apresente uma tolerância máxima admissível em relação à outra linha ou plano de referência.

Como pode ser visto na Figura 15 (a), tem-se duas linhas retas, o desvio tolerável está representado pelo cilindro paralelo ao eixo de referência, e esse cilindro possui como eixo simétrico uma das retas. Na Figura 15 (b) é possível observar um desvio entre dois planos paralelos, sendo um plano de referência, entre os quais deve estar à superfície efetiva da peça. (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 2013).

Figura 15 – (a) Paralelismo entre retas e (b) Paralelismo entre planos

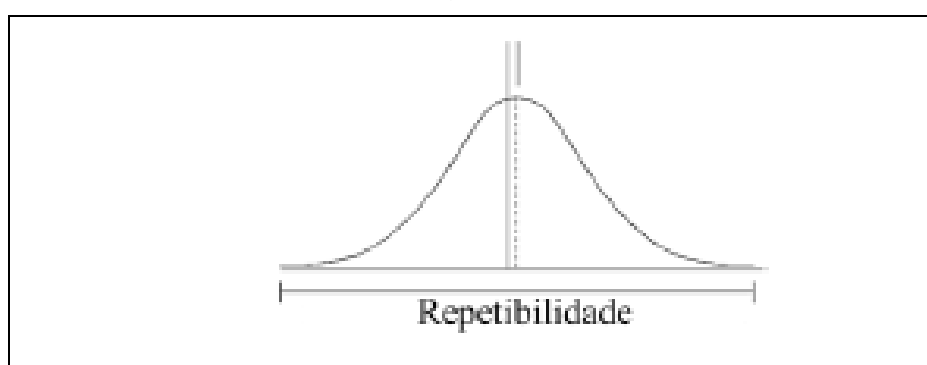


Fonte: Adaptado de Agostinho, Rodrigues e Lirani (2013).

2.5 Repetibilidade e Reprodutibilidade na medição

Segundo AIAG (2010), repetibilidade é a mudança das medições obtidas com um mesmo instrumento, quando utilizado várias vezes pela mesma pessoa, e medindo a mesma característica de uma peça. Refere-se à variação em sucessivas medições, em um curto prazo, sob as mesmas condições de trabalho, conforme Figura 16.

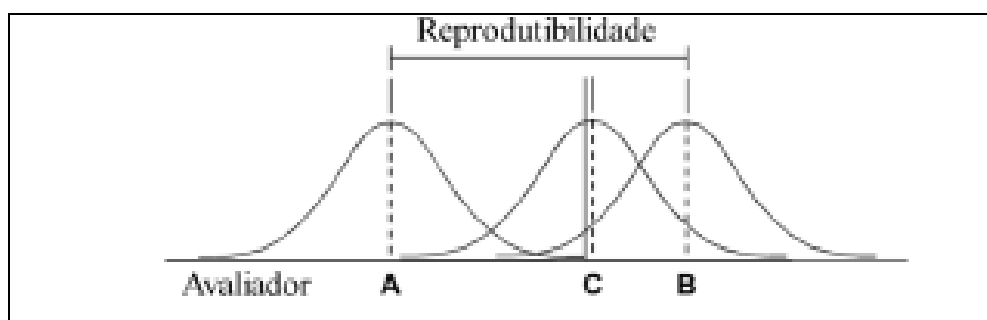
Figura 16 – Representação gráfica de repetibilidade



Fonte: Adaptado de AIAG (2010).

Ainda segundo AIAG (2010), reprodutibilidade é uma variação na média das medições realizadas por diferentes pessoas, utilizando o mesmo instrumento, medindo a mesma característica de uma peça, ou seja, é o mesmo processo de repetibilidade porém existe a modificação da variável medidora, conforme Figura 17.

Figura 17 – Representação gráfica de reprodutibilidade



Fonte: Adaptado de AIAG (2010).

3 METODOLOGIA

No presente capítulo será apresentada a classificação do trabalho quanto a sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos, assim como, o ambiente de pesquisa e os elementos envolvidos no estudo.

3.1 Classificação de pesquisa

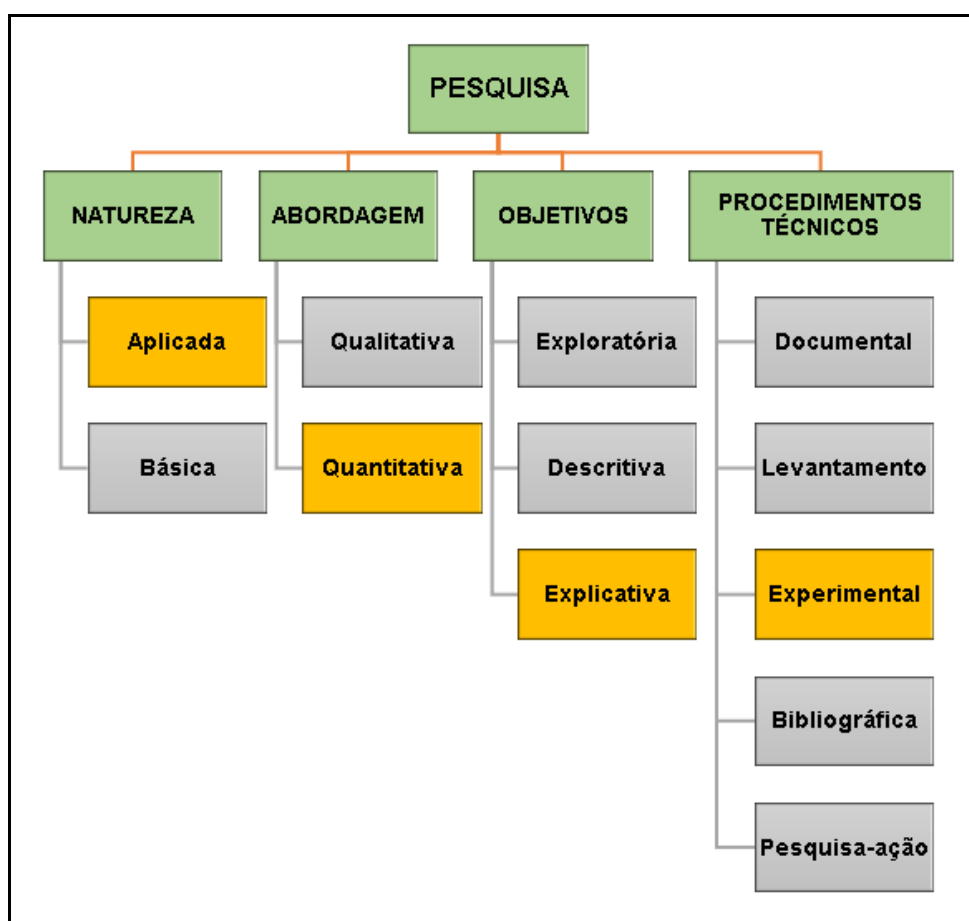
Para a realização de qualquer trabalho científico é necessário classificar o tipo de pesquisa que se quer realizar, para que assim a pesquisa possa seguir uma metodologia com regras estabelecidas. Deve-se classificar a pesquisa em natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. Seguindo este ponto de vista, pode-se classificar esta pesquisa quanto a sua natureza como aplicada, pois se visa criar um conteúdo tanto prático quanto teórico (PINHEIRO, 2010).

Quanto ao tipo de abordagem desta pesquisa, pode-se classificá-la como quantitativa, pois abrange a coleta de informações, levantamento de dados através de testes e análises estatísticas. De acordo com Pinheiro (2010), essa abordagem de pesquisa possui a característica de garantir a precisão dos resultados, em análises com variáveis no processo, utilizando técnicas estatísticas para comprovar a efetividade da pesquisa.

Com base na teoria de Pinheiro (2010), esta pesquisa é classificada quanto ao seu objetivo como explicativa, pois procura identificar fatores que influenciam determinados acontecimentos, sempre buscando a explicação para como determinado fato acontece.

Quanto aos procedimentos técnicos adotados nesta pesquisa, pode-se classificá-la como experimental, pois se definiu um item a ser estudado, relacionando-o as variáveis que podem influenciá-lo, determinando assim formas de controlá-lo e avaliar a influência das variáveis no processo. Na Figura 18 pode-se verificar que os itens marcados em amarelo representam o fluxograma da metodologia de pesquisa adotada para este trabalho.

Figura 18 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: O autor (2020)

3.2 Ambiente de pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa multinacional situada no estado de Santa Catarina. Esta empresa realiza suas atividades dentro do ramo metalúrgico especializado na fabricação de motores elétricos. A pesquisa foi realizada na seção de Usinagem de Fundidos, envolvendo o chefe, analista de engenharia, analista metalúrgico, analista de qualidade, técnico em ferramentas e o técnico em manutenção.

Os instrumentos de coleta de informações utilizados para esta pesquisa foram às visitas técnicas e a observação do processo. Os dados coletados serão posteriormente analisados por procedimentos estatísticos e apresentados por meio de gráficos.

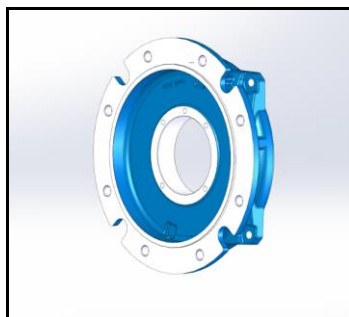
3.3 Elementos envolvidos no estudo

Nesse tópico serão apresentados os principais itens que terão influência na pesquisa, desde o produto, as suas tolerâncias geométricas, as máquinas as quais serão realizados os testes, a ferramenta utilizada, os dispositivos de fixação das peças e os instrumentos de medição utilizados.

3.3.1 Produto

O produto estudado neste trabalho conforme Figura 19, é uma tampa flange feita em ferro fundido cinzento, amplamente utilizada em motores elétricos industriais e na maioria dos casos estes motores são utilizados em bombas de alta pressão.

Figura 19 – Tampa Flange



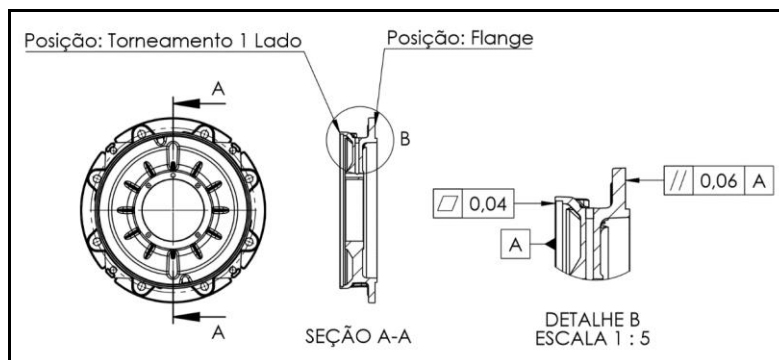
Fonte: O autor (2020)

Esta tampa flange é aplicada no motor elétrico trifásico, linha W22IE3 Premium, com frequência de 50Hz, potência de 45KW, 4 polos, carcaça 225S/M, forma construtiva B35T, com grau de proteção IP55.

3.3.2 Tolerâncias geométricas

Neste estudo foram avaliadas duas dimensões do processo de usinagem da tampa flange, a primeira o torneamento da face do primeiro lado, apresentando uma tolerância de planicidade de 0,04mm. A segunda dimensão avaliada foi a usinagem da face do flange, apresentando uma tolerância de paralelismo de 0,06mm em relação à face usinada anteriormente, conforme pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Tolerâncias geométricas da tampa flange



Fonte: O autor (2020)

3.3.3 Tornos verticais

No processo de torneamento das tampas flange foram utilizados dois tornos verticais, um responsável pelo torneamento da face do primeiro lado, e outro para o torneamento do flange. Para o torneamento do primeiro lado é utilizado o torno vertical OKUMA V-80R, conforme Figura 21.

Figura 21 – Torno vertical OKUMA V-80R



Fonte: O autor (2020)

Este torno tem um diâmetro de corte máximo de 800mm, e comprimento de corte máximo de 840mm, balanço máximo do diâmetro de 1000mm, torre com 12 posições, travessia rápida (X/Z) mm/min no eixo X: 16000 e eixo Z: 16000.

Para o torneamento do flange foi utilizado o torno vertical DOOSAN V-850, conforme Figura 22.

Figura 22 – Torno vertical DOOSAN V-850



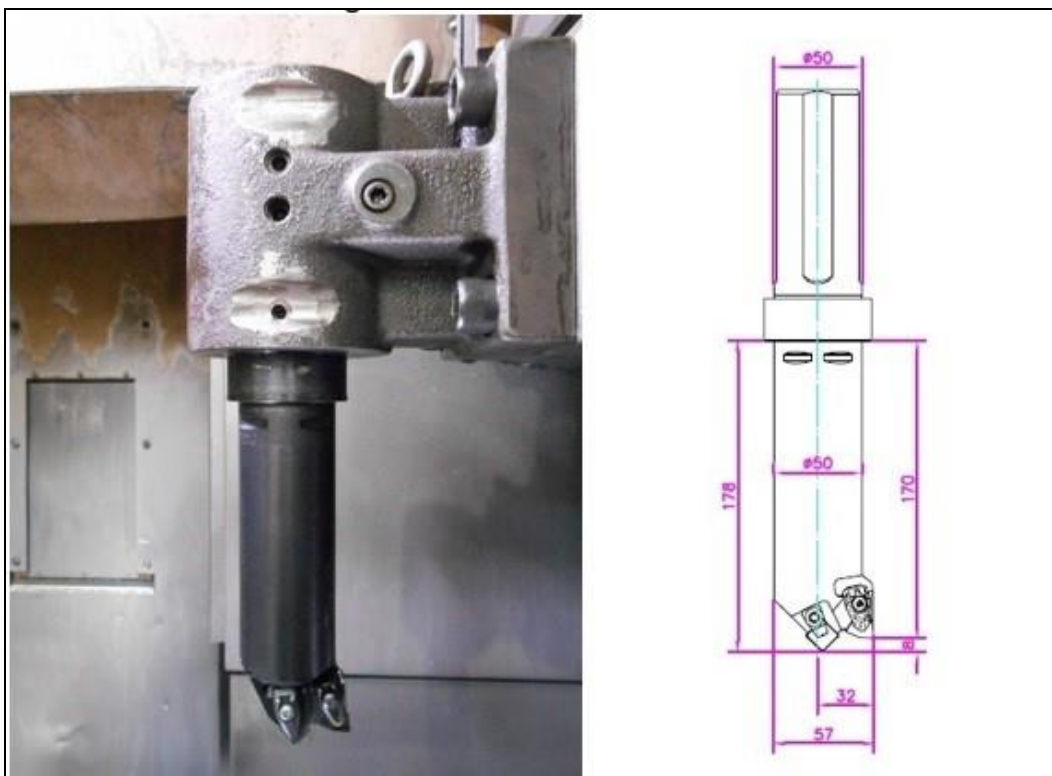
Fonte: O autor (2020)

Esse torno possui um comando CNC Fanuc 18T, possuindo um balanço máximo de diâmetro de 40 polegadas, diâmetro máximo de rotação de 38 polegadas e uma torre com 10 posições.

3.3.4 Ferramenta de usinagem

Para realização dos testes de torneamento do primeiro lado e do flange das tampas foi utilizada uma ferramenta com inserto de cerâmica, nomeada como T08, conforme Figura 23.

Figura 23 – Ferramenta T08



Fonte: O autor (2020)

A ferramenta ainda conta com uma unidade de fixação Coromant Capto de código C5-NC2000-12024-50, barra especial capto C5 de código S911-677087, utiliza um inserto de metal duro de código WNMA 08 04 16-KR 3210 e outro inserto de cerâmica de código SPGN 120412 435, ambos da marca Sandvik Coromant.

3.3.5 Dispositivos de fixação

Para a fixação das tampas no torneamento do primeiro lado foi utilizada uma placa universal com três castanhas bases e três castanhas de apoio, sendo nos testes utilizada uma com três pontos de fixação e outra com seis pontos de fixação, conforme a Figura 24 e 25 respectivamente.

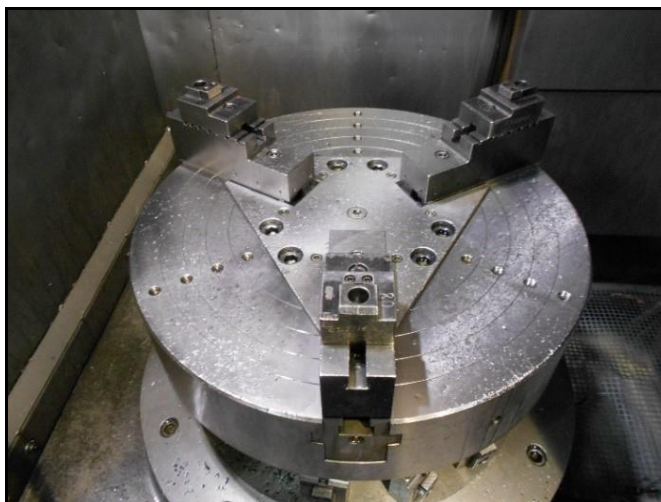
Figura 24 – Placa com seis pontos de fixação



Fonte: O autor (2020)

Jogo de castanhas articuladas que possuem seis pontos de fixação, sendo fabricadas de aço SAE 1045, possuindo insertos recartilhados para melhor fixação das peças.

Figura 25 – Placa com três pontos de fixação



Fonte: O autor (2020)

Jogo de castanhas fixas que possuem três pontos de fixação, sendo fabricadas de aço SAE 1045, possuindo insertos recartilhados para melhor fixação das peças.

Para a fixação da tampa no torneamento do flange foram utilizadas uma placa lisa e uma travessa para fixação, com batimento axial permitido de 0,01mm, conforme se pode ver na Figura 26.

Figura 26 – Placa de fixação do flange



Fonte: O autor (2020)

Placa lisa fabricada de aço SAE 1045, que possui furações e rebaxos para fixar os batentes e auxiliar na movimentação das peças. As travessas e a haste de fixação são fabricadas de aço SAE 1045.

3.3.6 Instrumentos de medição

Para a realização das medições de planicidade do primeiro lado e do paralelismo do flange foi utilizado o relógio apalpador milesimal como instrumento de medição, conforme a Figura 27. Este relógio foi acoplado a um suporte magnético articulado para facilitar a medição, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 27 – Relógio apalpador milesimal



Fonte: O autor (2020)

Relógio apalpador milesimal da marca Mitutoyo, modelo 513-401E, graduação de 0,001mm, com capacidade de medição de 0,14mm e leitura de escala 0-70-0.

Figura 28 – Suporte magnético articulado



Fonte: O autor (2020)

Suporte magnético articulado do tipo universal com travamento mecânico, com raio de alcance de 260mm, modelo 7032B, com acoplamento tipo rabo de andorinha.

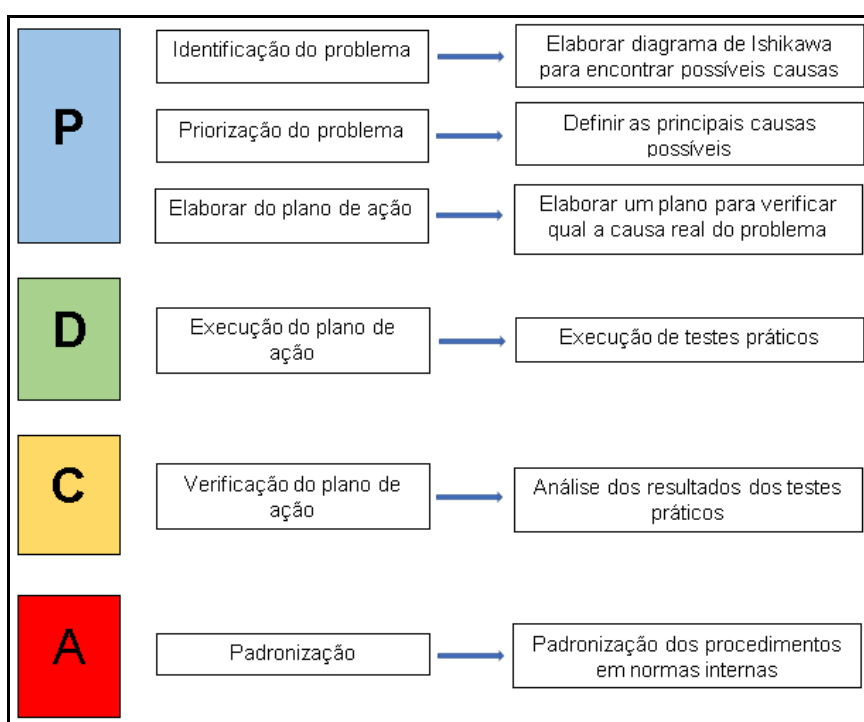
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para realização do estudo, assim como, as ferramentas utilizadas para tal. Com base na coleta de dados e a realização de testes práticos, serão apresentados os resultados e discussões.

4.1 Aplicação do ciclo PDCA

Com o intuito de analisar e solucionar a não conformidade de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos utilizou-se o ciclo PDCA, uma ferramenta baseada nos princípios da melhoria contínua que auxilia na análise e solução de problemas. Na Figura 29 pode ser visto um mapa de raciocínio para demonstrar os procedimentos utilizados neste trabalho.

Figura 29 – Fluxo ciclo PDCA



Fonte: O autor (2020)

Para complementar as etapas do ciclo PDCA aplicaram-se algumas ferramentas da qualidade complementares, como a técnica de *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e o diagrama de Pareto.

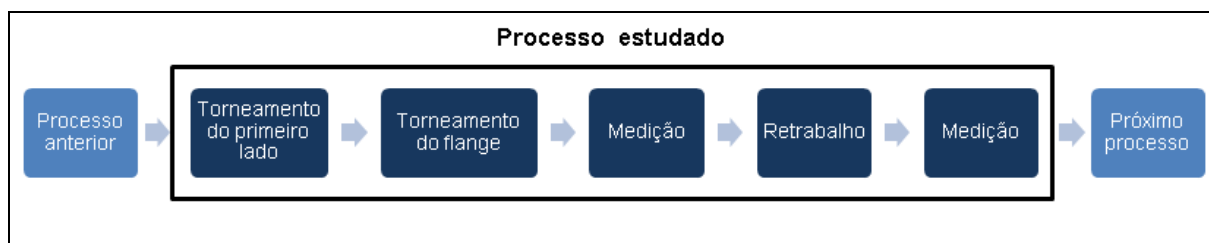
4.1.1 Fase de planejamento (P)

A fase de planejamento do ciclo PDCA é subdividida em três etapas distintas: a definição do problema, a priorização do problema e a elaboração de um plano de ação. Desta maneira é possível analisar o problema, estudar as causas e definir o melhor plano de ação para atingir o objetivo do estudo.

4.1.1.1 Definição do problema

Durante o processo de torneamento das tampas flange utilizadas em motores elétricos observou-se a necessidade de retrabalho para garantia das tolerâncias geométricas de planicidade e paralelismo das faces. Segundo a coleta de dados, no ano de 2019, a seção produziu 502 tampas flange e em 100% das amostras houve a necessidade de retrabalho. Na Figura 30 é possível observar as etapas do processo no fluxograma.

Figura 30 – Fluxo de processo



Fonte: O autor (2020)

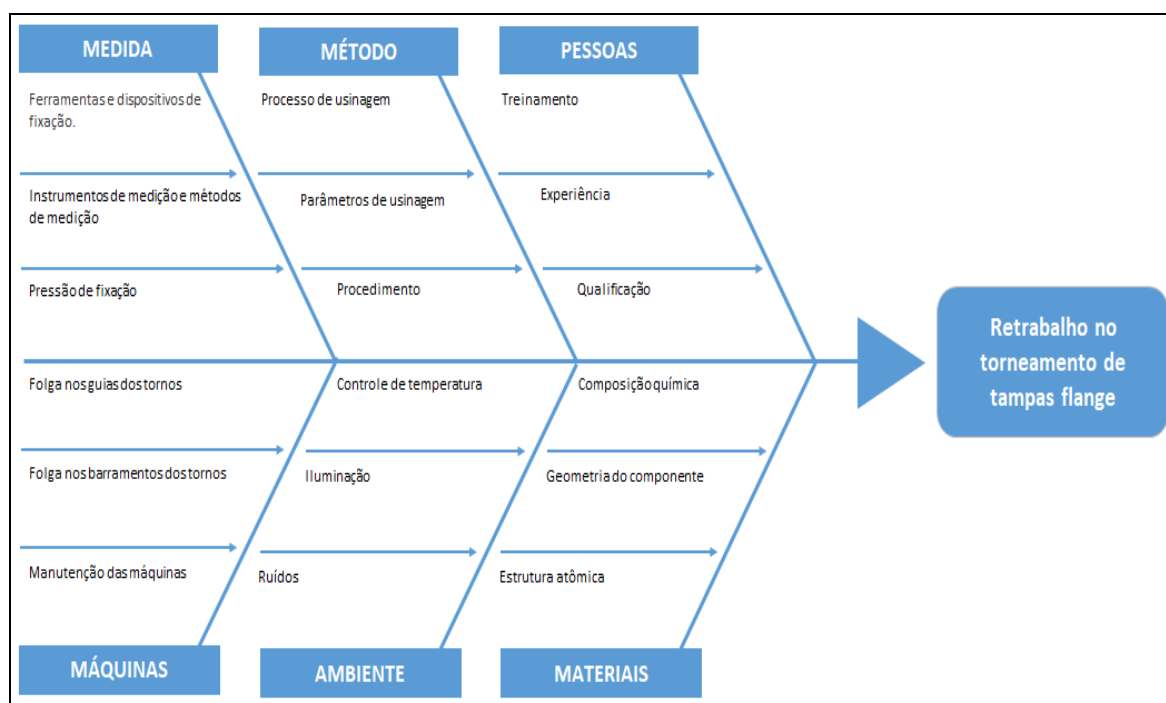
O retrabalho acontece devido à planicidade e paralelismo das tampas flange estarem fora da tolerância permitida em projeto. Após as usinagens das faces é realizada inicialmente a medição da face do flange, após isso a peça é invertida e é realizada a medição da face A (Figura 22) para comparar se os desvios encontrados nas duas faces são iguais. Verificando o desvio encontrado após as medições, as tampas retornam para a máquina e para adequação da medida é realizado o torneamento na face A da tampa flange. Lembrando que para execução do retrabalho o operador precisa preparar novamente a máquina, utilizando um programa especial de usinagem. Após o retrabalho as peças são medidas novamente.

Com isso tornou-se necessário à realização de visitas técnicas no local, para a observação do processo produtivo a fim de entender e identificar o motivo do problema.

Após as visitas técnicas e a observação do processo produtivo definiu-se a utilização do diagrama de Ishikawa para o levantamento das principais possíveis causas do retrabalho. O diagrama de Ishikawa foi elaborado em conjunto com as áreas envolvidas no processo, como o chefe da seção, analista de engenharia, analista metalúrgico, analista da qualidade, técnico em ferramentas e o técnico em manutenção.

Para auxiliar na construção do diagrama de Ishikawa utilizou-se a técnica de *brainstorming*, de forma a levantar o maior número de possíveis causas para o retrabalho no torneamento das tampas flange. Por fim, após reuniões, discussões e troca de ideias elaborou-se o diagrama de Ishikawa, definindo-se como problema raiz o retrabalho no torneamento das tampas flange, conforme pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 - Diagrama de Ishikawa



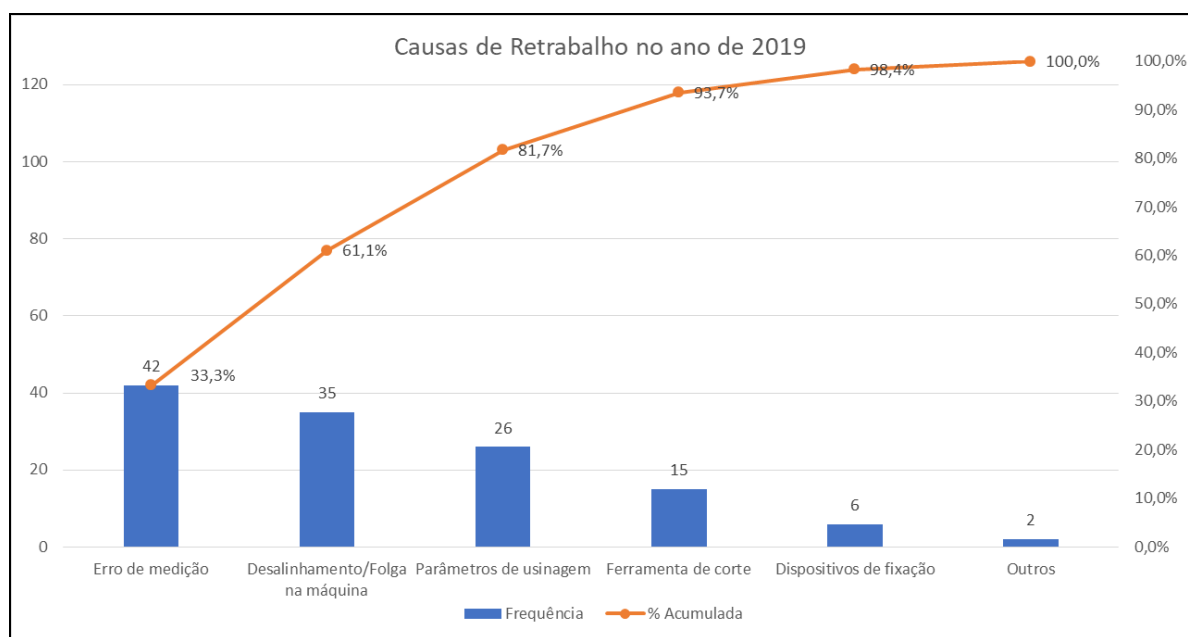
Fonte: O autor (2020)

4.1.1.2 Priorização do problema

Com o intuito de reduzir os custos e esforços, além de minimizar o tempo investido, optou-se por utilizar o conceito de Pareto para definição das principais causas para o retrabalho das peças, que diz que aproximadamente 80% dos problemas podem ser resolvidos por 20% das causas, ou seja, é possível concentrar poucos esforços para se obter bons resultados.

De acordo com o conceito de Pareto, foi realizado um levantamento de dados das principais causas de retrabalho ocorridas no ano de 2019, abrangendo todas as não conformidades da seção, e com base nos dados levantados, pode-se criar um diagrama de Pareto para visualizar de forma clara as causas com maior frequência, conforme Figura 32.

Figura 32 - Aplicação do diagrama de Pareto



Fonte: O autor (2020)

De acordo com o diagrama elaborado, pode-se verificar que os erros de medição, o desalinhamento/folga nas máquinas e os parâmetros de usinagem foram às causas de maior frequência para o retrabalho de peças, e juntas equivalem a 81,7% dos problemas de retrabalho e, portanto, foram definidas como as principais causas a serem analisadas neste trabalho.

4.1.1.3 Elaboração do plano de ação

Com o objetivo de reduzir o índice de retrabalho no torneamento de tampas flange e com as principais possíveis causas do problema definidas no tópico anterior, pode-se elaborar um plano de ação para testar e verificar cada uma das causas selecionadas, para posteriormente identificar a causa real do problema.

As principais causas selecionadas no tópico anterior foram erros de medição, desalinhamento/folga na máquina e os parâmetros de usinagem. Para cada um dos itens, planejou-se realizar testes práticos para analisar e comprovar a eficácia das atividades dentro do processo de fabricação das peças.

- Para analisar a eficácia das medições no processo de fabricação das tampas flange serão realizados testes de repetibilidade e reprodutibilidade na medição.
- Para análise do desalinhamento e das folgas nas máquinas serão realizadas inspeções geométricas por uma equipe autorizada.
- Para analisar os parâmetros de usinagem do processo, serão realizados testes de torneamento com modificações das variáveis de fixação, pressão de fixação, avanço e número de passes.

4.1.2 Fase de execução (D)

Neste capítulo será apresentada a fase de execução do estudo, ou seja, serão apresentados como os testes de repetibilidade e reprodutibilidade nas medições, as inspeções geométricas nas máquinas e testes de torneamento com alteração nos parâmetros de usinagem que foram executados.

4.1.2.1 Teste de repetibilidade e reprodutibilidade

Para a verificação da eficácia dos métodos de medição do processo foram realizados testes de repetibilidade e reprodutibilidade, utilizando um relógio apalpador milesimal acoplado a uma base magnética ajustável.

Para o teste de repetibilidade foi escolhido um operador que executa frequentemente as atividades do processo estudado. Este operador teve que realizar

a medição da tampa flange em um mesmo local 10 vezes, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Teste de Repetibilidade

| Teste de Repetibilidade | |
|-------------------------|------------------------|
| Amostra | Unidade de Medida (mm) |
| 1 | 0,044 |
| 2 | 0,042 |
| 3 | 0,043 |
| 4 | 0,041 |
| 5 | 0,043 |
| 6 | 0,041 |
| 7 | 0,044 |
| 8 | 0,041 |
| 9 | 0,042 |
| 10 | 0,043 |

Fonte: O autor (2020)

O teste de reprodutibilidade foi executado por três operadores distintos, também frequentemente envolvidos no processo, realizando cinco vezes a medição das tampas flange em um mesmo local, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Teste de Reprodutibilidade

| Teste de Reprodutibilidade | | | |
|----------------------------|------------|------------|------------|
| Unidade de Medida (mm) | | | |
| Amostra | Operador 1 | Operador 2 | Operador 3 |
| 1 | 0,042 | 0,044 | 0,042 |
| 2 | 0,043 | 0,042 | 0,041 |
| 3 | 0,042 | 0,041 | 0,040 |
| 4 | 0,041 | 0,043 | 0,044 |
| 5 | 0,044 | 0,042 | 0,042 |

Fonte: O autor (2020)

4.1.2.2 Inspeção geométrica

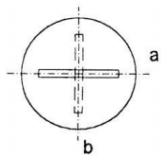
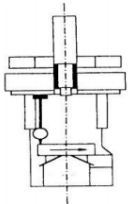
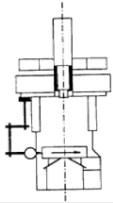
Baseado nas principais possíveis causas obtidas, onde o desalinhamento e possíveis folgas nos barramentos dos tornos poderiam ser a causa do retrabalho das peças, adotou-se como método de verificação a realização de ensaios geométricos nas máquinas envolvidas no processo, no caso, os tornos OKUMA V-

80R e o DOOSAN V-850.

Ambos os ensaios foram executados pela equipe de manutenção da seção, uma equipe especializada e apta para execução. A fim de verificar as condições das máquinas, foram executados os ensaios comparando os desvios admissíveis, desvio admissível projetado, e os desvios efetivos, desvios obtidos através das inspeções.

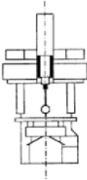
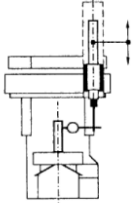
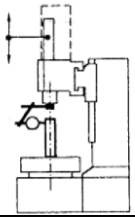
Nas Figuras 33, 34 e 35 é possível verificarmos os ensaios da máquina OKUMA V-80R, e nas Figuras 36, 37 e 38 os ensaios da máquina DOOSAN V-850.

Figura 33 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R A

| N° 1 | NIVELAMENTO | | |
|--|---|----------------------------------|------------------------------------|
| | A) No sentido longitudinal B) No sentido transversal | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | * Nível de precisão 0,02 mm/m * Régua de referência * Calços padrão | A) 0,03 / 1000 B) 0,03 / 1000 | A) 0,015 / 1000 B) 0,010 / 1000 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Passar pedra abrasiva sobre a placa. Colocar a régua apoiada em calços sobre a placa. Posicionar o nível no centro da régua e nas duas extremidades. Anotar os desvios. | | | |
| N° 2 | BATIMENTO AXIAL DA PLACA | | |
| | ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) |
| Admissível | | | Efetivo |
|  | * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão | 0,010 / 1000 | 0,005 / 1000 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Fixar a base magnética no torpedão. Posicionar o calço padrão na extremidade da placa. Referenciar o relógio sobre o calço. Girar a placa e medir o batimento em no mínimo quatro pontos. Anotar o desvio. | | | |
| N° 3 | BATIMENTO RADIAL DA PLACA | | |
| | ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) |
| Admissível | | | Efetivo |
|  | * Relógio apalpador * Base magnética | 0,010 / 1000 | 0,004 / 1000 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Fixar a base magnética no torpedão. Referenciar o relógio na lateral da placa. Girar a placa e medir o batimento. Anotar o desvio. | | | |

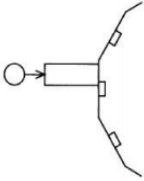
Fonte: O autor (2020)

Figura 34 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R B

| Nº 4 | PARALELISMO DO MOVIMENTO HORIZONTAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO À FACE DA MESA | | |
|---|---|--------------|--|
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência | 0,030 / 1000 | 0,010 / 1000 <input checked="" type="checkbox"/> Lado Direito mais baixo. <input type="checkbox"/> Lado direito mais alto. |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Apoiar a régua nos calços sobre a placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio na face da régua no lado esquerdo da máquina e move-lo para o lado direito anotando o desvio. | | | |
| Nº 5 | PARALELISMO DO MIVIMENTO VERTICAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO AO EIXO DE GIRO DA PLACA | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência * Esquadro de granito | 0,030 / 1000 | 0,012 / 1000 <input checked="" type="checkbox"/> P/ Frente <input type="checkbox"/> P/ Trás |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Posicionar o esquadro cilíndrico no centro da placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio no esquadro próximo a placa no sentido lateral da máquina. Mover o torpedo para cima anotando o desvio. | | | |
| Nº 6 | PARALELISMO DO MIVIMENTO VERTICAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO AO EIXO DE GIRO DA PLACA | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência * Esquadro de granito | 0,030 / 1000 | 0,008 / 1000 <input checked="" type="checkbox"/> P/ Direita <input type="checkbox"/> P/ Esquerda |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Posicionar o esquadro cilíndrico no centro da placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio no esquadro próximo a placa no sentido frontal da máquina. Mover o torpedo para cima anotando o desvio. | | | |

Fonte: O autor (2020)

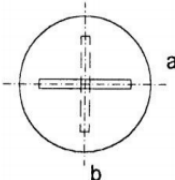
Figura 35 - Ensaio geométrico OKUMA V-80R C

| Nº 7 | REPETITIVIDADE DO MOVIMENTO DO EIXO "X" | | |
|---|---|--------------|--------------|
| | ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) |
| Admissível | | | Efetivo |
|  | * Relógio apalpador * Base magnética | 0,005 | 0,003 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Posicionar calço padrão na face da placa. Fixar a base magnética na torre porta ferramentas. Referenciar o relógio no calço padrão. Anotar o valor da coordenada "X" no display da máquina. Deslocar o eixo "X" para trás e retornar até o valor da coordenada que foi zerado o relógio. Anotar o desvio e repetir o ensaio 20 vezes. | | | |

Fonte: O autor (2020)

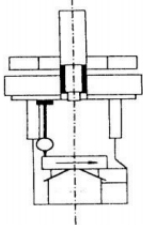
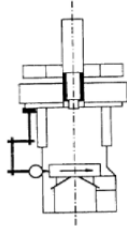
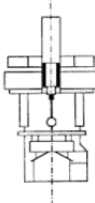
A seguir serão apresentados os ensaios geométricos referentes à máquina DOOSAN V-850.

Figura 36 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 A

| Nº 1 | NIVELAMENTO | | |
|---|---|----------------------------------|--|
| | A) No sentido longitudinal B) No sentido transversal | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | * Nível de precisão 0,02 mm/m * Régua de referência * Calços padrão | A) 0,03 / 1000 B) 0,03 / 1000 | A) 0,010 / 1000 Direita mais alta B) 0,020 / 1000 Atrás mais alto |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Passar pedra abrasiva sobre a placa. Colocar a régua apoiada em calços sobre a placa. Posicionar o nível no centro da régua e nas duas extremidades. Anotar os desvios. | | | |

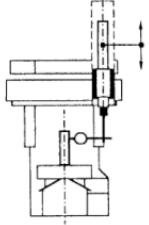
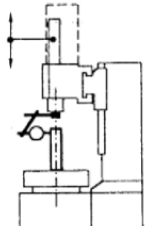
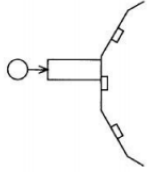
Fonte: O autor (2020)

Figura 37 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 B

| N° 2 | | BATIMENTO AXIAL DA PLACA | |
|---|--|--|--|
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão | 0,010 / 1000 | 0,010 / 1000 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Fixar a base magnética no torpede. Posicionar o calço padrão na extremidade da placa. Referenciar o relógio sobre o calço. Girar a placa e medir o batimento em no mínimo quatro pontos. Anotar o desvio. | | | |
| N° 3 | | BATIMENTO RADIAL DA PLACA | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética | 0,010 / 1000 | 0,007 / 1000 |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Fixar a base magnética no torpede. Referenciar o relógio na lateral da placa. Girar a placa e medir o batimento. Anotar o desvio. | | | |
| N° 4 | | PARALELISMO DO MOVIMENTO HORIZONTAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO À FACE DA MESA | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | |
| | | Admissível | Efetivo |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência | 0,030 / 1000 | 0,020 / 1000 <input checked="" type="checkbox"/> Lado Direito mais baixo. <input type="checkbox"/> Lado direito mais alto. |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | |
| Apoiar a régua nos calços sobre a placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio na face da régua no lado esquerdo da máquina e move-lo para o lado direito anotando o desvio. | | | |

Fonte: O autor (2020)

Figura 38 - Ensaio geométrico DOOSAN V-850 C

| N° 5 | | | | PARALELISMO DO MIVIMENTO VERTICAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO AO EIXO DE GIRO DA PLACA | | | |
|---|---|--------------|--|--|--------------|-------------------------------------|-------------|
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | | Admissível | Efetivo | | |
| | | | | | | | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência * Esquadro de granito | | | 0,030 / 1000 | 0,025 / 1000 | <input checked="" type="checkbox"/> | P/ Frente |
| | | | | | | <input type="checkbox"/> | P/ Trás |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | | | | | |
| Posicionar o esquadro cilíndrico no centro da placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio no esquadro próximo a placa no sentido lateral da máquina. Mover o torpedo para cima anotando o desvio. | | | | | | | |
| N° 6 | | | | PARALELISMO DO MIVIMENTO VERTICAL DO TORPEDO EM RELAÇÃO AO EIXO DE GIRO DA PLACA | | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | | Admissível | Efetivo | | |
| | | | | | | | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética * Calço padrão * Régua de referência * Esquadro de granito | | | 0,030 / 1000 | 0,015 / 1000 | <input checked="" type="checkbox"/> | P/ Direita |
| | | | | | | <input type="checkbox"/> | P/ Esquerda |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | | | | | |
| Posicionar o esquadro cilíndrico no centro da placa. Nivelar a régua, retirando o erro de nivelamento da máquina. Referenciar o relógio no esquadro próximo a placa no sentido frontal da máquina. Mover o torpedo para cima anotando o desvio. | | | | | | | |
| N° 7 | | | | REPETITIVIDADE DO MOVIMENTO DO EIXO "X" | | | |
| ESQUEMA | INSTRUMENTOS | DESVIOS (mm) | | Admissível | Efetivo | | |
| | | | | | | | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> * Relógio apalpador * Base magnética | | | 0,005 | 0,001 | | |
| MÉTODO DE ENSAIO | | | | | | | |
| Posicionar calço padrão na face da placa. Fixar a base magnética na torre porta ferramentas. Referenciar o relógio no calço padrão. Anotar o valor da coordenada "X" no display da máquina. Deslocar o eixo "X" para trás e retornar até o valor da coordenada que foi zerado o relógio. Anotar o desvio e repetir o ensaio 20 vezes. | | | | | | | |

Fonte: O autor (2020)

4.1.2.3 Teste de torneamento

Para a execução dos testes de torneamento, a fim de verificar se os parâmetros de usinagem têm influência direta no alto número de retrabalho nas peças, serão modificados os parâmetros de usinagem dos processos. Para o torneamento do primeiro lado serão modificadas as variáveis de pressão de fixação, pontos de fixação da castanha, número de passes e avanço, conforme pode ser visto no Quadro 3. Para ambos os testes foi utilizado o relógio apalpador acoplado a uma base magnética para checagem da medição. O Teste 1 do Quadro 3 equivale ao método atual do processo.

Quadro 3 – Condições de torneamento do 1º lado

| Condições dos testes de torneamento (Torneamento 1º Lado) | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| Teste | Pressão de Fixação (bar) | Pontos de Fixação da Castanha | Nº de passes | Avanço mm/rot |
| Teste 1 | 1 | 3 | 2 | 0,36 |
| Teste 2 | 0,6 | 3 | 2 | 0,36 |
| Teste 3 | 0,6 | 3 | 3 | 0,36 |
| Teste 4 | 0,6 | 3 | 3 | 0,25 |
| Teste 5 | 1 | 6 | 2 | 0,36 |
| Teste 6 | 0,6 | 6 | 2 | 0,36 |
| Teste 7 | 0,6 | 6 | 3 | 0,36 |
| Teste 8 | 0,6 | 6 | 3 | 0,25 |

Fonte: O autor (2020)

No Quadro 3 é possível observar que nos testes a variável pressão de fixação varia em 1 e 0,6 bar, os pontos de fixação da castanha variam em 3 e 6 pontos, o número de passes de usinagem varia em 2 e 3 passes e o avanço varia em 0,25 e 0,36 mm/rot.

Para a realização dos testes de torneamento do flange, serão modificadas as variáveis de pressão de fixação, número de passes e avanço, conforme pode ser vista no Quadro 4. Para ambos os testes foi utilizado um relógio apalpador acoplado a uma base magnética para verificação das medições. O teste 1 do Quadro 4 equivale ao método atual do processo.

Quadro 4 – Condições de torneamento do flange

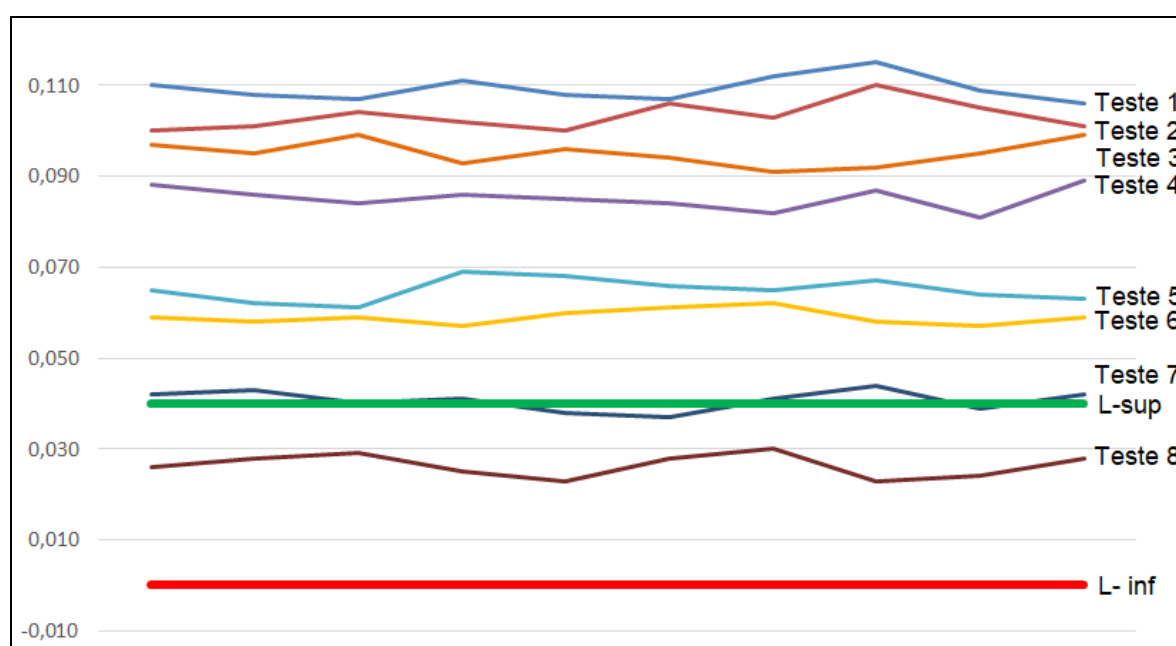
| Condições dos testes de torneamento (Torneamento do Flange) | | | |
|---|--------------------------|--------------|---------------|
| Teste | Pressão de Fixação (bar) | Nº de passes | Avanço mm/rot |
| Teste 1 | 1 | 2 | 0,36 |
| Teste 2 | 0,6 | 2 | 0,36 |
| Teste 3 | 0,6 | 3 | 0,25 |

Fonte: O autor (2020)

No Quadro 4 é possível verificar que nos testes a variável pressão de fixação varia em 1 e 0,6 bar, o número de passes de usinagem varia em 2 e 3 passes e o avanço varia em 0,25 e 0,36 mm/rot.

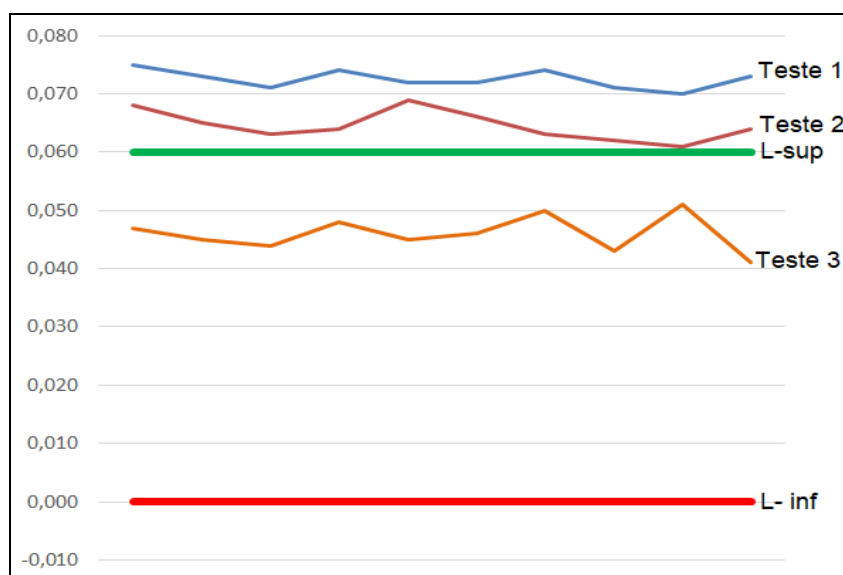
No Gráfico 1 podem ser vistos os resultados dos testes de torneamento do primeiro lado. Para cada teste foram retiradas 10 amostras. No gráfico é possível observar que a linha verde equivale ao limite superior da tolerância no valor de 0,04mm, a linha vermelha o limite inferior da tolerância no valor de 0,00mm e as outras linhas equivalem as amostras coletadas dos testes. Já no Gráfico 2 podem ser vistos os resultados dos testes de torneamento do flange, onde a linha verde equivale ao limite superior da tolerância no valor de 0,06mm, a linha vermelha equivale ao limite inferior da tolerância no valor de 0,00mm e as demais linhas equivalem as amostras coletadas dos testes.

Gráfico 1 – Testes de torneamento do 1º lado



Fonte: O autor (2020)

Gráfico 2 – Testes de torneamento do flange



Fonte: O autor (2020)

4.1.3 Fase de verificação (C)

Nesta fase será feita a verificação dos testes, analisando os resultados obtidos e comparando se o que foi executado é coerente com o que foi planejado no tópico anterior. Além disso, é neste tópico em que se verifica se o que foi planejado consegue solucionar os problemas, caso não seja possível, haverá necessidade de um novo planejamento.

4.1.3.1 Análise dos testes de repetibilidade e reprodutibilidade

Analisando o Quadro 1 onde são apresentados os resultados dos testes de repetibilidade na medição pode ser observado que houve uma variação de 0,003mm na medição. A variação permitida de acordo com as normas internas da empresa é 0,005mm, portanto, o método atual de medição está apto para a execução da atividade, não influenciando no índice de retrabalho das tampas flange.

Analisando o Quadro 2 onde são apresentados os resultados dos testes de reprodutibilidade é possível observar que a variação obtida foi de 0,004mm. A norma interna da empresa estabelece também para este processo uma tolerância de 0,005mm, portanto, este método de medição também se prova ser eficaz não influenciando no índice de retrabalho das tampas flange.

4.1.3.2 Análise das inspeções geométricas

Analisando os resultados das inspeções geométricas da máquina OKUMA V-80R pode-se verificar, comparando os desvios admissíveis e efetivos que a máquina está em condições para a realização da operação de torneamento. Todos os pontos analisados na inspeção então dentro da tolerância estabelecida pelo fabricante.

Os resultados apresentados referentes à inspeção geométrica da máquina DOOSAN V-850 pode-se verificar também, comparando os desvios admissíveis e efetivos, que a máquina está apta para a execução do torneamento, uma vez que, todos os aspectos analisados estão dentro da tolerância especificada pelo fabricante.

4.1.3.3 Análise dos testes de torneamento

O Quadro 5 mostra a eficácia dos testes práticos de torneamento na etapa de torneamento do primeiro lado. Foram retiradas 10 amostras para cada teste executado e a análise da eficácia foi realizada utilizando os valores médios obtidos. Conforme pode ser visto no Quadro 5, seis testes apresentaram resultados que não atendem os requisitos, um teste atendeu parcialmente e um teste apresentou valores satisfatórios dentro da tolerância especificada.

Quadro 5 - Análise de eficácia do torneamento do 1º lado

| Torneamento do 1º Lado | | | | | |
|------------------------|-----------------|--------------------|--------|------------|---------------------|
| Teste | Tolerância (mm) | Valor médio obtido | Atende | Não Atende | Atende Parcialmente |
| 1 | 0 - 0,040 | 0,109 | | X | |
| 2 | 0 - 0,040 | 0,103 | | X | |
| 3 | 0 - 0,040 | 0,095 | | X | |
| 4 | 0 - 0,040 | 0,085 | | X | |
| 5 | 0 - 0,040 | 0,065 | | X | |
| 6 | 0 - 0,040 | 0,059 | | X | |
| 7 | 0 - 0,040 | 0,041 | | | X |
| 8 | 0 - 0,040 | 0,026 | X | | |

Fonte: O autor (2020)

O teste 1 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde utilizou-se uma pressão de fixação da peça de 1 bar, 3 pontos de

fixação da castanha, 2 passes de torneamento com um avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1 pode-se observar que o procedimento não é eficaz, todas as 10 amostras ficaram fora com campo de tolerância.

O teste 2 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde utilizou-se uma pressão de fixação de 0,6 bar, 3 pontos de fixação da castanha, 2 passes de torneamento com avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1 pode ser visto que todas as 10 amostras também ficaram fora do campo de tolerância, tornando o procedimento ineficaz.

O teste 3 foi realizado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde foi aplicada uma pressão de fixação de 0,6 bar, 3 pontos de fixação da castanha, 3 passes de torneamento com avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1 pode-se verificar que todas as amostras coletadas estão fora do campo de tolerância, mostrando que o procedimento não se torna eficaz.

O teste 4 foi realizado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde foi utilizada uma pressão de fixação de 0,6 bar, 3 pontos de fixação da castanha, 3 passes de torneamento com avanço de 0,25 mm/rot. Analisando os resultados mostrados no Gráfico 1 pode-se verificar que todas as 10 amostras ficaram fora do campo de tolerância permitido, mostrando que o procedimento também se torna ineficaz.

O teste 5 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde utilizou-se uma pressão de fixação da peça de 1 bar, 6 pontos de fixação da castanha, 2 passes de torneamento com um avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1, pode-se definir o procedimento ineficaz, pois as amostras se apresentaram fora do campo de tolerância aceitável.

O teste 6 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde utilizou-se uma pressão de fixação de 0,6 bar, 6 pontos de fixação da castanha, 2 passes de torneamento com avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1 pode ser visto que todas as 10 amostras também ficaram fora do campo de tolerância, tornando o procedimento ineficaz.

O teste 7 foi realizado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde foi aplicada uma pressão de fixação de 0,6 bar, 6 pontos de fixação da castanha, 3 passes de torneamento com avanço de 0,36 mm/rot.

Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1 pode-se verificar que o procedimento atende parcialmente, uma vez que, algumas amostras ficaram dentro do campo de tolerância e outras fora dele.

O teste 8 foi realizado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 3, onde foi utilizada uma pressão de fixação de 0,6 bar, 6 pontos de fixação da castanha, 3 passes de torneamento com avanço de 0,25 mm/rot. Analisando os resultados mostrados no Gráfico 1 pode-se verificar que todas as 10 amostras ficaram dentro do campo de tolerância, mostrando que o procedimento se torna eficaz.

No Quadro 6 pode ser vista a análise de eficácia do torneamento do flange. Para esta etapa foram retiradas 10 amostras e foram utilizados os valores médios para execução da análise de eficácia. De acordo com o quadro, dois testes não atenderam as tolerâncias e um teste apresentou resultados satisfatórios.

Quadro 6 - Análise de eficácia do torneamento do flange

| Torneamento do Flange | | | | | |
|-----------------------|-----------------|--------------------|--------|------------|---------------------|
| Teste | Tolerância (mm) | Valor médio obtido | Atende | Não Atende | Atende Parcialmente |
| 1 | 0 - 0,060 | 0,073 | | X | |
| 2 | 0 - 0,060 | 0,065 | | X | |
| 3 | 0 - 0,060 | 0,046 | X | | |

Fonte: O autor (2020)

O teste 1 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 4, onde utilizou-se uma pressão de fixação da peça de 1 bar, 2 passes de torneamento com um avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 2 pode-se observar que o procedimento não se torna eficaz, todas as 10 amostras ficaram fora com campo de tolerância.

O teste 2 foi executado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 4, onde utilizou-se uma pressão de fixação de 0,6 bar, 2 passes de torneamento com avanço de 0,36 mm/rot. Analisando os resultados apresentados no Gráfico 2 pode ser visto que todas as 10 amostras também ficaram fora do campo de tolerância, tornando o procedimento ineficaz.

O teste 3 foi realizado utilizando os parâmetros e condições especificados no Quadro 4, onde foi utilizada uma pressão de fixação de 0,6 bar, 3 passes de torneamento com avanço de 0,25 mm/rot. Analisando os resultados mostrados no

Gráfico 2 pode-se verificar que todas as 10 amostras ficaram dentro do campo de tolerância, mostrando que o procedimento se torna eficaz.

4.1.4 Fase de ação (A)

Nesta fase será realizada a padronização do processo, uma vez que, a partir dos testes realizados, pode-se determinar um procedimento para atender as especificações de projeto, diminuindo o índice de retrabalho em 100%, atingindo então o objetivo do estudo.

4.1.4.1 Padronização de procedimento

Conforme pôde ser visto no capítulo anterior, baseado nos resultados dos testes realizados, a execução da medição das peças e a geometria das máquinas não eram os problemas que geravam o retrabalho, a real causa eram os parâmetros utilizados na usinagem, onde foram executados testes alterando variáveis e pôde-se encontrar um novo método capaz de atender as especificações de projeto.

Uma vez definido os novos parâmetros a serem utilizados, no caso os mesmos do teste 8 para o torneamento do primeiro lado e o teste 3 para o torneamento do flange, estes serão padronizados em norma, e serão repassados os devidos treinamentos aos operadores que executarem tal tarefa.

4.2 Comparações do Método atual x Método proposto

Para comparar os métodos atual e proposto foi realizada uma análise de viabilidade. Esta análise será apenas referente aos processos apresentados no estudo, o torneamento do primeiro lado e o torneamento do flange. Baseados na coleta de dados referentes ao ano de 2019 foram fabricadas 502 tampas flange, o custo de fabricação hora homem (HH) x hora máquina (HM) é de 180 reais, o tempo de fabricação do método atual é de 1,75 min/peça no torneamento do primeiro lado e 1,5 min/peça no torneamento do flange, já no método proposto os tempos são respectivamente 2,3 min/peça e 1,8 min/peça. O tempo de retrabalho necessário no método atual é de 5,7 min/peça. No Quadro 7 é possível verificarmos a comparação dos métodos em relação ao tempo e custo total de fabricação.

Quadro 7 - Análise de viabilidade

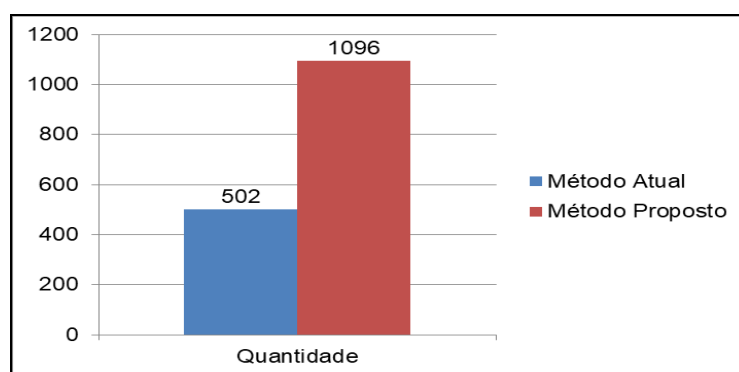
| Análise da viabilidade dos métodos de torneamento | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Método | Tempo de Fabricação (min/peça) | Tempo de Retrabalho (min/peça) | Custo Total de Fabricação |
| Método Atual | 3,25 | 5,7 | R\$ 13.478,70 |
| Método Proposto | 4,1 | - | R\$ 6.174,59 |

Fonte: O autor (2020)

O Quadro 7 apresenta a comparação entre os métodos atual e o proposto, onde pode-se visualizar que o método atual apresenta tempo menor de fabricação em relação ao proposto, porém seu custo total de fabricação é maior pois é adicionado o custo de retrabalho neste cálculo. Portanto o método proposto se torna viável, pois apresenta 100% de redução de retrabalho e mesmo tendo um maior tempo de fabricação reduz o custo total de fabricação aproximadamente pela metade.

No Gráfico 3 é realizada uma comparação do método proposto em relação ao atual, onde é apresentada a quantidade de peças a serem fabricadas tomando como referência o tempo de 4492,9 minutos coletado nos dados da empresa referentes ao ano de 2019. Como pode ser visto no Quadro 7, o método atual consome um tempo de 8,95 min/peça, somando os tempos de fabricação e de retrabalho enquanto o método proposto apenas 4,1 min/peça. Portanto, enquanto no método atual pôde-se fabricar 502 peças no ano de 2019, no método proposto, utilizando o mesmo tempo, porém sem tempo de reprocesso, seria possível fabricar aproximadamente 1096 peças.

Gráfico 3 Método Atual x Método Proposto



Fonte: O autor (2020)

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou identificar uma melhoria de processo reduzindo os índices de retrabalho encontrados no torneamento de tampas flange de motores elétricos. Para isso foram utilizadas técnicas e ferramentas da qualidade que podem ser encontradas na fundamentação teórica.

Com relação ao problema exposto na introdução, onde foi identificado que o processo de fabricação de tampas flange de motores elétricos estava apresentando em sua totalidade a necessidade de retrabalho para adequação as tolerâncias dimensionais especificadas em projeto. Para resolução do problema foi utilizada a ferramenta do ciclo PDCA, seguindo todas as etapas definidas por Deming (1990), juntamente a outras ferramentas da qualidade auxiliares, como o diagrama de Ishikawa e o Diagrama de Pareto. Porém para a execução do estudo seguindo os passos do ciclo PDCA, teve-se que responder inicialmente a seguinte pergunta: É possível utilizar o ciclo PDCA como ferramenta para a redução do índice de retrabalho no torneamento de tampas flange?

Respondendo ao primeiro objetivo específico: Identificar as possíveis causas de retrabalho no torneamento das tampas flange. Seguindo o primeiro passo do ciclo PDCA, etapa de planejamento, referente à identificação dos problemas, utilizou-se a ferramenta do diagrama de Ishikawa juntamente com a técnica de *brainstorming*, esta etapa mostrou ser eficiente, pois aplicando as ferramentas puderam ser criadas várias hipóteses de problemas.

Continuando com os termos específicos, o segundo objetivo: Classificar e analisar as causas de maior importância. Tomando como referencia as hipóteses obtidas no diagrama de Ishikawa, e as comparando com causas mais frequentes da seção onde é realizado o processo, pode-se aplicar o diagrama de Pareto, que mostrou que as possíveis causas que equivalem a 80% dos problemas frequentes são: erros de medição, máquinas com problemas de geometria e parâmetros de usinagem inadequados. Esta etapa mostrou ser eficiente, pois se pode focar em pontos específicos evitando grandes esforços.

Respondendo o terceiro objetivo específico: Propor melhorias para o processo conforme análises realizadas. Criou-se um plano para verificação das possíveis causas definidas através de testes práticos. Os testes práticos, pertencentes à etapa de execução do ciclo PDCA foram executados e pode-se verificar dentro da etapa de

verificação do ciclo PDCA, que a geometria das máquinas e o processo de medição estavam corretos, e assim focou-se apenas na alteração dos parâmetros de usinagem. Realizando testes de torneamento alterando algumas variáveis pode-se atingir o objetivo, encontrando um novo método capaz de atender as tolerâncias especificadas em projeto. Após comprovado o procedimento, dentro da etapa de ação do ciclo PDCA, este foi padronizado em norma e os devidos treinamentos foram repassados aos operadores.

Finalizando os termos específicos, o quarto objetivo: reduzir o custo total de fabricação das peças. Com a implantação do novo método, fez-se necessária a alteração dos parâmetros de usinagem, que aumentaram o tempo de fabricação das peças, o que acabou aumentando o custo direto de fabricação, porém esse custo é justificado, pois foi eliminado o retrabalho nas peças, e com isso o custo total de fabricação reduziu-se aproximadamente pela metade atingindo o objetivo específico proposto.

Respondendo o objetivo geral do trabalho: reduzir o índice de retrabalho no torneamento de tampas flange, aplicando as ferramentas da qualidade para resolução dos problemas. A utilização das ferramentas da qualidade como o ciclo PDCA, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto e *brainstorming*, se mostraram ser eficazes, organizando e controlando as etapas, auxiliando nas tomadas de decisões e principalmente na identificação da causa e solução do problema. O retrabalho foi reduzido em sua totalidade.

Esse estudo foi realizado para uma etapa específica do processo de fabricação, porém esse mesmo estudo pode ser replicado em demais etapas e áreas, possibilitando multiplicar ainda mais os ganhos obtidos.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6409**: Tolerâncias Geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. Rio de Janeiro, 1997.

AGOSTINHO, Oswaldo; RODRIGUES, Antônio; LIRANI, João. **Princípios de Engenharia de Fabricação: Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Blucher, 2013.

AGUIAR, S. **Integração das ferramentas de qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG., 2006.

AIAG – AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Measurement Systems Analysis (MSA): Reference Manual**. Fourth Edition, 2010.

ALMACINHA, José António. **Introdução à metrologia dimensional**. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2016.

ALVES, Dennys. **Apostila Técnica WEG – Manual de equipamentos (Fresas e Torno)**. Jaraguá do Sul, 2010.

BEHNAM, Bahmankhah; ALVELOS, Helena. **Exploring the Potential of Quality Tools in Tire Retreading Industry: a Case Study**. Publicado no International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 2011.

BERNARDINI, Jonas Viana. **Proposta de implantação NR 12 em um torno mecânico universal**. 2019. 61 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências da Linguagem, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2019.

CATAPAN, Márcio Fontana. **Apostila de desenho mecânico**. Curitiba: UFPR, 2013.

CNI; SENAI; INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2 ed. Brasília: SENAI/DN, 2000.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean simplificada**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1970.

FITZPATRICK, Michael. **Introdução à Usinagem com CNC: Série Tekne**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013.

FONSECA, Luis Afonso T. Alves da. **Metrologia**. Pelotas/RS: Centro Federal de Educação Tecnológica, 2010.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2008.

GIL, A.C. **Estudo de caso**. 1. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GOZZI, M. P. **Gestão da qualidade em bens e serviços**. São Paulo: Person, 2015.

GWIAZDA, A. **Quality tools in a process of technical Project management**. Publicado no Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering VOLUME 18 ISSUE 1-2 September-October 2006.

JUNIOR, Adonias F. P. **Como as ferramentas da qualidade ajudam a gestão do projeto**. Disponível em: <http://blog.qualidadesimples.com.br/2015/07/15/como-as-ferramentas-da-qualidade-ajudam-a-gestao-do-projeto/>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

LEAN BLOG. **Diagrama de Causa e Efeito**. Disponível em: <https://lean.blog.br/diagrama-ishikawa-e-grafico-de-pareto/>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

LESKO, Jim. **Design Industrial: materiais e processos de fabricação**. São Paulo: Blucher, 2004.

LINS, Bernardo Felipe Estellita. Ferramentas básicas da qualidade. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 2, n. 22, p. 153-161, 15 out. 1993.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

MARCONDES, José Sérgio. **Diagrama ou Gráfico de Pareto: Ferramenta da Gestão da Qualidade**, 2016. Disponível em: <https://gestaodesegurancaprivada.com.br/diagrama-ou-grafico-de-pareto-conceito/>. Acesso em 21 de abril de 2020.

MARRAFA, M. **O gerenciamento das suas não conformidades**. São Paulo. Disponível em: <http://www.banasmetrologia.com.br/textos.asp?codigo=2087&secao=revista>. Acesso em: 14 abril de 2020.

OLIVEIRA, João Gabriel Souza Martins de. **Materiais usados na construção de Motores Elétricos**. 2009. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

OLIVEIRA, S. T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. São Paulo: Editora Pioneira, 1996.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2004.

PALADINI, Edson Pacheco. **Qualidade Total na Prática – Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., 1997.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo:

Editora Atlas S.A., 2012.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores Elétricos e Acionamentos**. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2013.

QUINQUIOLO, J. M. **Avaliação da Eficácia de um Sistema de Gerenciamento para Melhorias Implantado na Área de Carroceria de uma Linha de Produção Automotiva**. Taubaté/SP: Universidade de Taubaté, 2002. Revista. Acesso em: 14 de abril de 2020.

SALES, Matías. **Diagrama de Pareto**. Ealde Business School, Madrid, 2013.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da Qualidade: As ferramentas essenciais**. 2. ed. Curitiba: Ibpex, 2012.

SEVERINO, Geremias. **Otimização do torneamento vertical**. Itajubá/MG, 2011.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; DELAI, Ivete; CASTRO, Marco Aurélio Soares de. **Quality tools applied to Cleaner Production programs: a first approach toward a new methodology**. Publicado no Journal of Cleaner Production 47, 2013.

SOUSA, Carlos. **Categorias da metrologia**. Porto/Portugal: CATIM, 2008.

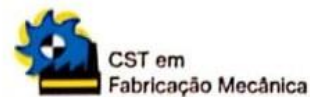
STOETERAU, Rodrigo Lima. **Processos de usinagem**. Florianópolis/SC: UFSC, 2004.

WEG A. **W22 IR3 Premium 0.16cv 2P 63 3F 220/380V 60Hz IC411 – TFVE – B14D**. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/W22-IR3-Premium/W22-IR3-Premium-0-16-cv-2P-63-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE--B14D/p/12219141>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

WEG B. **Motores Elétricos**. Disponível em: <http://www.coe.ufrj.br/~richard/Acionamentos/Catalogo%20de%20Motores.pdf>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

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

APÊNDICE A – Termo de autorização de pesquisa



Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 05 de junho de 2019.

Eu, Gustavo Henrique Krüger, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de "Melhoria de processo para redução do índice de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos", do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de junho/2019 a junho/2020, com o objetivo de "reduzir o índice de retrabalho na usinagem de tampas flange, aplicando as ferramentas da qualidade para resolução dos problemas". Esta pesquisa está sendo orientada pelo Prof. Alexandre Zammar, pesquisador do IFSC.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para realizar a coleta de dados que consistirá de análise do ambiente, entrevistas individuais com funcionários e imagens através de fotos e vídeos. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca ou produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.

Gustavo Henrique Krüger
Gustavo Henrique Krüger - Pesquisador Principal
guto.d8@gmail.com
(47) 999642544

Autorizo: