

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO MATEUS DO NASCIMENTO

**ABORDAGEM SEIS SIGMA NA ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE BATIMENTO
RADIAL DO EIXO NA MONTAGEM DE UM MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO**

PATO BRANCO

2023

THIAGO MATEUS DO NASCIMENTO

**ABORDAGEM SEIS SIGMA NA ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE BATIMENTO
RADIAL DO EIXO NA MONTAGEM DE UM MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO**

**Six sigma approach in the analysis of shaft radial runout variation in the
assembly of a three-phase electric motor**

Trabalho de Conclusão de Curso de Curso
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador (a): Dalmarino Setti.

PATO BRANCO

2023



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

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

THIAGO MATEUS DO NASCIMENTO

**ABORDAGEM SEIS SIGMA NA ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE BATIMENTO
RADIAL DO EIXO NA MONTAGEM DE UM MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO**

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

Data de aprovação: 14/junho/2023

Dalmarino Setti
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Doutorado

Silvana Patricia Verona
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Doutorado

Fabio Rodrigo Mandello Rodrigues
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Doutorado

PATO BRANCO

2023

Dedico este trabalho à minha mãe e meu pai,
por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que me incentivaram em momentos difíceis e se fizeram presentes sempre que precisei, vocês são o motivo de todos os meus esforços.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Dalmarino Setti, pelo conhecimento e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos colegas de turma, muitos dos quais serão próximos pelo resto da vida, por todo auxílio durante a graduação, pelas dificuldades que enfrentamos juntos e também pelos bons momentos, deixo aqui meu muito obrigado.

A todos os professores com quem tive contato na graduação, por todo o conhecimento fornecido, tenho certeza que será de grande utilidade para minha vida profissional e pessoal.

Empresas ou gerentes que estudam o peito e afirmam ter todas as respostas são invariavelmente aqueles que correm maior perigo; eles param de aprender, ficam para trás e acabam tendo que se esforçar muito para compensar o tempo perdido – se não for tarde demais.
(PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2001).

RESUMO

O controle da qualidade desempenha um papel fundamental na indústria e é essencial para garantir a satisfação do cliente, a eficiência operacional e a reputação de uma empresa. Ele engloba todas as atividades e processos utilizados para monitorar e garantir que os produtos ou serviços atendam ou excedam as especificações e expectativas dos clientes, dito isto, o presente trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia Seis Sigma para análise das variáveis de processo que causam a variação da medida de batimento radial em eixos especiais durante a produção de motores elétricos trifásicos. O desenvolvimento de melhorias nos processos produtivos por meio da aplicação de metodologias tem como finalidade a redução dos gastos com retrabalho interno e o índice de defeitos no cliente externo. O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão teórica sobre os princípios, técnicas e ferramentas para a abordagem Seis Sigma, bem como a importância do controle estatístico de processo no controle da qualidade na indústria. Em seguida, foi conduzido um experimento na montagem dos motores elétricos para exemplificar a abordagem do Seis Sigma para a análise da variação de batimento radial nos eixos. Conclui-se a partir disso que, ao contrário do que era esperado anteriormente ao experimento, a montagem dos motores elétricos, na maioria dos casos, reduz as medidas de batimento radial nos eixos, obtendo assim uma variação de medida negativa. Porém, os resultados de variação do batimento radial no eixo tiveram valores muito dispersos, com grande desvio padrão. Quanto aos valores de batimento radial no eixo obtidos no início da montagem recomenda-se formar um grupo de trabalho com engenheiros, técnicos e inspetores a fim de implementar melhorias em sua produção e tornar o processo mais estável.

Palavras-chave: Seis Sigma; batimento radial; motores elétricos; qualidade.

ABSTRACT

Quality control plays a crucial role in the industry and ensures customer satisfaction, operational efficiency, and a company's reputation. The development of improvements in production processes through the application of methodologies aims to reduce spending on internal rework and the rate of defects in the external customer. This work aims to apply the Six Sigma methodology to analyze the process variables that cause the variation of the radial beating measurement in special shafts during the production of three-phase electric motors. The work was developed from a theoretical review of the principles, techniques, and tools for the Six Sigma approach and the importance of statistical process control in quality control in the industry. Then, an experiment was conducted on the assembly of electric motors to exemplify the Six Sigma approach for analyzing the radial beat variation in the shafts. It is concluded from this that, contrary to what was expected prior to the experiment, the assembly of the electric motors, in most cases, reduces the radial shaft beat measurements, thus obtaining a negative measurement variation. However, the radial shaft beating variation results had widely dispersed values with a significant standard deviation. Regarding the radial beating values on the shaft obtained at the beginning of the assembly, it is recommended to form a task force with engineers, technicians, and inspectors to implement improvements in the production process and make it more stable

Keywords: Six Sigma; radial runout; electric motors; quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – As três eras do controle da qualidade.....	18
Figura 2 – Representação das interações entre elementos do processo	20
Figura 3 – Ciclo PDCA	21
Figura 4 – Exemplos de performances na Escala Sigma.....	22
Figura 5 – Exemplo de mapa de processo	24
Figura 6 – Avaliação de Sistemas de Medição	25
Figura 7 – Carta de controle	27
Figura 8 – Exemplo de árvore de amostragem	28
Figura 9 – Subgrupo da Medida	29
Figura 10 – Representação técnica do batimento radial.....	32
Figura 11 - Modelo do motor elétrico trifásico utilizado no estudo	33
Figura 12 – Conjunto de instrumentos de medição	36
Figura 13 - Estratégia de amostragem para obtenção das medidas no experimento.....	37
Figura 14 – Operação 1 e seu resultado y_1	38
Figura 15 – Operação 2 e seu resultado y_2	39
Figura 16 – Operação 3 e seu resultado y_3	40
Figura 17 – Plano de ação inicial	41
Figura 18 - Rotor completo içado pelo lado traseiro.....	41
Figura 19 – Estratégia de amostragem para a análise R&R	42
Figura 20 - Carta de variabilidade das medições realizadas	44
Figura 21 - Resultados da análise R&R.....	45
Figura 22 - Conjunto rotor com eixo polia longa.....	46
Figura 23 - Pontos de medição no eixo	47
Figura 24 - Medidas do batimento radial antes da montagem	47
Figura 25 - Medidas do batimento radial antes da montagem separados por ponto de medição.....	48
Figura 26 - Medidas do batimento radial após a montagem.....	49
Figura 27 - Medidas do batimento radial após a montagem separados por ponto de medição.....	49
Figura 28 - Variação do batimento radial em cada ponto de medição, por item50	
Figura 29 - Variação do batimento radial em cada item, por ponto de medição50	
Figura 30 - Distribuição dos valores de variação do batimento radial	51
Figura 31 - Média das variações por ponto de medição	51
Figura 32 - Média das variações por lado de montagem do conjunto rotor	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores obtidos nas medições para a análise R&R	43
Tabela 2 – Média e desvio padrão das medidas antes da montagem	48
Tabela 3 – Média e desvio padrão das medidas após a montagem.....	49
Tabela 4 - Resultados obtidos no experimento	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
MSE	Análise do Sistema de Medição
LIE	Limite Inferior Especificado
LSE	Limite Superior Especificado
DOE	<i>Design of Experiments</i>
PDCA	<i>Plan – Do – Check – Act</i>
PDSA	<i>Plan – Do – Study – Act</i>
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade
EV	<i>Equipment variation</i>
AV	<i>Appraiser variation</i>
CEP	Controle Estatístico do Processo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
1.2	Justificativa	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Qualidade na indústria	16
2.1.1	Gestão e planejamento da qualidade	17
2.2	Controle da qualidade	17
2.2.1	Era da inspeção.....	18
2.2.2	Era do controle estatístico	19
2.2.3	Era do controle da qualidade total	19
2.3	Ferramentas da qualidade	20
2.3.1	Ciclo PDCA e PDSA.....	20
2.3.2	Seis Sigma	21
<u>2.3.2.1</u>	<u>Mapa de raciocínio</u>	<u>23</u>
<u>2.3.2.2</u>	<u>Mapa de processo e produto</u>	<u>23</u>
<u>2.3.2.3</u>	<u>MSE</u>	<u>25</u>
<u>2.3.2.4</u>	<u>Cartas de controle</u>	<u>26</u>
<u>2.3.2.5</u>	<u>Estratégias e árvores de amostragem</u>	<u>27</u>
<u>2.3.2.6</u>	<u>Planejamento de experimentos</u>	<u>29</u>
2.4	Tolerância e análise de dimensões	30
2.4.1	Medida nominal	30
2.4.2	Intercambialidade	31
2.4.3	Tolerâncias	31
2.4.4	Batimento radial.....	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	A empresa	33
3.2	Contextualização do problema	34
3.3	Materiais e métodos	34
3.3.1	Equipamentos de medição	35
3.3.2	<i>Software</i> de análise estatística	36
3.3.3	Planejamento do experimento	37

4	RESULTADOS.....	38
4.1	Mapa de processo	38
4.2	Análise do sistema de medição	42
4.3	Desenvolvimento do experimento	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A qualidade na indústria é um assunto crítico e sempre relevante. Com a crescente concorrência no mercado global, as empresas precisam se esforçar constantemente para manter sua posição e permanecer competitivas. A qualidade é um fator chave que determina a satisfação do cliente e, conseqüentemente, o sucesso do negócio. Atualmente, a indústria está passando por uma transformação digital que está mudando a maneira como as empresas operam e produzem seus produtos. A tecnologia está sendo usada para melhorar a qualidade dos produtos, aumentar a eficiência da produção e reduzir os custos. Além disso, os regulamentos governamentais estão se tornando cada vez mais rigorosos, e as empresas precisam se adaptar a essas mudanças para garantir a conformidade e manter sua reputação (LOBO, 2020).

A qualidade tornou-se um dos fatores determinantes mais importantes quando os consumidores escolhem produtos e serviços concorrentes. Esse fenômeno é predominante, seja o consumidor um indivíduo, associação comercial, varejista, banco ou instituição financeira ou programa de defesa militar. A qualidade é um fator chave para o sucesso, crescimento e competitividade dos negócios. Há um retorno substancial sobre o investimento de qualidade melhorada e de sucesso empregando a qualidade como parte integrante da estratégia geral de negócios (MONTGOMERY, 2009).

Garvin (1987) introduziu as diferentes dimensões da qualidade, são oito componentes que tratam de atributos do produto. Sobre a performance: o produto irá cumprir seu propósito? Confiabilidade: com que frequência o produto apresenta defeito? Durabilidade: quanto tempo dura o produto? Manutenção: quão fácil é para reparar o produto? Estética: com o que o produto se parece? Recursos: quais as funcionalidades do produto? Qualidade percebida: qual a reputação da empresa ou produto? Conformidade com as normas: o produto é feito conforme o projeto?

Percebe-se que a qualidade é um pilar de vários aspectos, tendo como sua definição mais tradicional, que os produtos e serviços devem atender as demandas do cliente. Porém, Montgomery (2009) atribui uma definição mais moderna, ele define que “qualidade é inversamente proporcional a variabilidade” de características importantes para o produto. Isso implica também que a melhoria da qualidade seria a redução da variabilidade nos produtos e processos.

No contexto do controle da qualidade no processo de produção de motores elétricos, a abordagem Seis Sigma desempenha um papel fundamental. Ao identificar as principais fontes de variação e implementar melhorias por meio dessa metodologia, as empresas têm a oportunidade de reduzir a variabilidade nos processos de fabricação dos motores elétricos. Isso resulta em uma maior consistência e conformidade com as especificações técnicas, o que, por sua vez, leva a uma melhoria na qualidade geral dos motores.

O desenvolvimento dos motores elétricos remonta ao século XIX, com contribuições significativas de diversos inventores e cientistas ao longo desse período. O pioneiro na criação dos motores elétricos foi o físico britânico Michael Faraday, que realizou experimentos com eletromagnetismo no início do século XIX. Em 1821, ele descobriu o princípio da indução eletromagnética, que estabelece a relação entre a corrente elétrica e o magnetismo (FITZGERALD, KINGSLEY JR., UMANS, 2014).

Os motores elétricos trifásicos são amplamente utilizados na indústria devido à sua eficiência, simplicidade e capacidade de fornecer alto torque em baixas velocidades. Esses motores operam com um sistema de alimentação de corrente alternada trifásica, onde três bobinas ou enrolamentos estão defasados em 120 graus elétricos um do outro. A funcionalidade básica de um motor elétrico trifásico ocorre quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator, criando um campo magnético girante. Esse campo magnético interage com o rotor, que contém barras condutoras, induzindo correntes no rotor. Essas correntes no rotor criam um campo magnético secundário, que interage com o campo magnético girante do estator, gerando o movimento de rotação do motor (CHAPMAN, 2013).

Em suma, o controle da qualidade no processo de produção é essencial para garantir a consistência, confiabilidade e conformidade dos produtos. A abordagem Seis Sigma proporciona as ferramentas e métodos necessários para identificar e reduzir a variabilidade, melhorando a qualidade dos motores elétricos e impulsionando o sucesso dos negócios. Ao adotar essa abordagem, as empresas podem atender às demandas dos clientes, alcançar eficiência operacional e se destacar em um mercado altamente competitivo de motores elétricos (RUTHES, CERETTA, SONZA, 2016).

Neste trabalho será apresentado uma revisão bibliográfica e histórica da qualidade na indústria, do controle da qualidade, da abordagem por meio do Seis Sigma e suas ferramentas de análise. O problema abordado será a verificação de um

processo na montagem de um motor elétrico, se o mesmo é uma causa crítica de variação dimensional do batimento radial do eixo do motor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar a metodologia Seis Sigma para análise das variáveis de processo que causam a variação da medida de batimento radial em eixos especiais durante a produção de motores elétricos trifásicos.

1.1.2 Objetivos específicos

Descrever e avaliar o processo de montagem de motores elétricos em uma empresa de soluções em energia.

Aplicar a metodologia Seis Sigma da empresa, juntamente com *softwares* de análise estatística e gráficos de controle.

Propor ações para combater as causas de variação do batimento radial em eixos especiais.

1.2 Justificativa

A variação da medida de batimento radial em eixos especiais pode levar a falhas ou mau funcionamento dos motores elétricos nos clientes externos. Essas variações podem resultar em vibrações excessivas, ruídos indesejados e desgaste prematuro dos componentes, afetando a confiabilidade e a vida útil dos motores elétricos. Isso pode levar a reclamações dos clientes, perda de negócios e danos à reputação da empresa.

É crucial entender e controlar essa variação para reduzir os custos com retrabalho, minimizar defeitos nos motores entregues aos clientes e aumentar a satisfação do cliente externo. Isso pode ser alcançado utilizando a abordagem Seis Sigma, identificando as fontes de variação e implementando melhorias nos processos produtivos. Com isso, Werkema (2012) explica que a lucratividade da empresa tende a aumentar significativamente ao se adotar a metodologia Seis Sigma para se controlar o processo produtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo representará a base teórica para o desenvolvimento do trabalho, bem como, entenderemos as fases da qualidade no processo produtivo e como foi seu desenvolvimento ao longo da história. Será abordado também fundamentos da engenharia da qualidade, o desenvolvimento da metodologia Seis Sigma e como ela é aplicado na indústria.

2.1 Qualidade na indústria

A implementação de um sistema de qualidade é uma decisão estratégica para qualquer organização que possa melhorar o desempenho geral e prover uma base sólida para iniciativas de desenvolvimento sustentável. A implementação de um sistema de gestão da qualidade tem vários benefícios potenciais, incluindo: Designar a capacidade de fornecer consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos de clientes e aos requisitos legais e regulamentares aplicáveis, a capacidade de abordar os riscos e oportunidades associados às suas circunstâncias e objetivos, para facilitar oportunidades de maior satisfação do cliente e a capacidade de demonstrar conformidade com os requisitos estabelecidos do sistema de gestão da qualidade (ABNT, 2015).

A expansão do domínio da qualidade no comportamento organizacional também se reflete em responsabilidades que se agregaram à área, como meio ambiente, qualidade de vida, ética e valores. Eles são essenciais hoje e estão sujeitos a regulamentos nacionais e internacionais e diversas normas. Isso mostra a consciência crescente da sociedade, que impõe demandas e exerce pressões complementares (MARSHALL JR. *et al*, 2012).

A qualidade tornou-se o fator mais importante para o sucesso e crescimento da empresa nos mercados doméstico e internacional. O retorno sobre o investimento em um programa de qualidade forte e eficaz gera rentabilidade superior para empresas com estratégias de qualidade eficazes. Isso se reflete em penetração de mercado significativamente maior, produtividade geral significativamente maior, custos de qualidade significativamente mais baixos e uma vantagem competitiva mais forte (FEIGENBAUM, 1961).

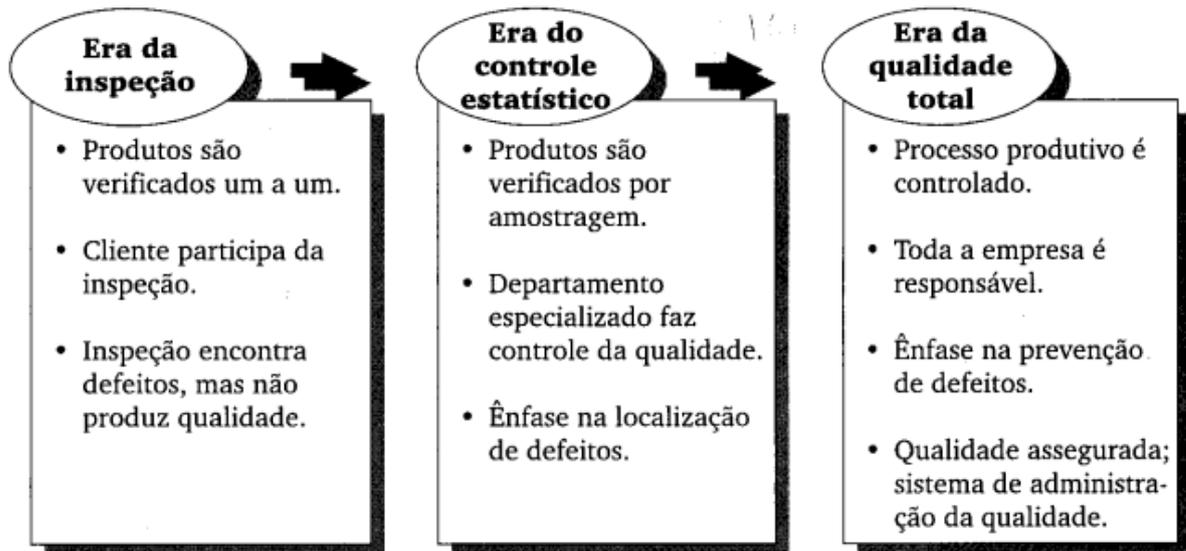
2.1.1 Gestão e planejamento da qualidade

O planejamento da qualidade é um processo estruturado de desenvolvimento de produtos (bens e serviços) que garante que as necessidades do cliente sejam atendidas por meio do resultado final. As ferramentas e métodos de planejamento da qualidade são integrados às ferramentas técnicas dos produtos específicos desenvolvidos e oferecidos. O desenvolvimento de novos automóveis requer engenharia automotiva e disciplinas relacionadas, o desenvolvimento de caminhos eficazes de tratamento para diabetes juvenil requer métodos especializados de profissionais médicos e novas abordagens para serviços de hóspedes em resorts requerem as habilidades de um hoteleiro experiente. Todos os três precisam do processo, métodos, ferramentas e técnicas de planejamento da qualidade para garantir que os projetos finais para o automóvel, cuidados diabéticos e serviços de resort não apenas cumpram os melhores requisitos técnicos das disciplinas relevantes, mas também atendem às necessidades dos clientes que comprarão e se beneficiarão dos produtos (JURAN *et al*, 1998).

2.2 Controle da qualidade

O controle da qualidade emergiu junto as inovações na produção advindas das revoluções industriais. Esta engloba uma série de atividades que hoje estão bem estabelecidas na indústria, iniciando na inspeção que serve para segregar produtos com defeitos, mas não melhora sua qualidade, até a aplicação de ferramentas de análise e solução de problemas da qualidade, que atacam a raiz dos defeitos garantindo um processo produtivo estável e controlado.

Figura 1 – As três eras do controle da qualidade.



Fonte: Maximiano (2000, p. 71)

Para estratificar a história do controle da qualidade, na Figura 1 temos três filosofias que surgiram de acordo com a necessidade do produtor ou consumidor de assegurar a qualidade do bem de consumo ou serviço ao longo da história.

2.2.1 Era da inspeção

Os termos inspeção e inspetor são de origem antiga. As pinturas murais e os relevos das tumbas egípcias mostram as inspeções realizadas durante a construção dos projetos de pedra. Os medidores incluíam um esquadro, nível e prumo para verificar o alinhamento da rocha (JURAN, 1998).

A era da inspeção correspondeu a um período antes da revolução industrial, tendo seu foco em identificar os defeitos de fabricação, agilizado pelos artesões que realizavam a produção, seguindo seu critério pessoal sem um método estudado e estabelecido para tal fim. Usualmente o cliente participava da inspeção, se atentando visualmente para defeitos no produto em exposição para venda.

Feigenbaum (1961) trata o controle da qualidade por inspeção como uma das fases percorridas para chegar a sua concepção de Controle da Qualidade Total (TQC – *Total Quality Control*). Sendo essa a fase em que grupos de inspetores verificavam a qualidade do produto em sistemas de manufatura que evoluíram rapidamente no período da Primeira Guerra Mundial. Essa visão observa a inspeção em um mundo que o controle da qualidade já era utilizado, mas que ainda não tinha um consenso quanto a sua classificação.

2.2.2 Era do controle estatístico

Nessa era, iniciou a análise das variações do processo, e Shewhart (1931) constatou que a variação em si não representava um problema, já que era inevitável, e o que realmente importa é definir uma flutuação aceitável para conferir a estabilidade ao processo.

De acordo com Shewhart (1931), ao escrever a letra "a" repetidamente em um pedaço de papel, é observado que é impossível escrever todos os "a's" iguais. Isso leva à conclusão de que existe uma variação inerente no processo. Essa variação pode ser causada por fatores como a textura do papel, falhas na caneta e influências ambientais que levam a pequenas variações na escrita dos "a's". No entanto, o autor sugere que essas não são as únicas causas da variação, indicando a possibilidade de outras fontes de variação existirem.

A crescente demanda global por produtos manufaturados impossibilitou a realização de inspeções produto a produto como em épocas anteriores, e técnicas de amostragem passaram a ser usadas. Neste novo sistema, utilizando cálculos estatísticos, um determinado número de produtos era selecionado aleatoriamente para inspeção que representasse todo o grupo, e assim verificava-se a qualidade de todo o lote. No início desta era, como em seus antecessores, o foco estava no produto. Com o tempo, porém, passou a controlar o processo produtivo, criando as condições necessárias para o início da era de qualidade total (OLIVEIRA, 2004).

2.2.3 Era do controle da qualidade total

Nesta era, sendo o período atual, o enfoque do controle da qualidade é o cliente. Os esforços da organização se voltam para satisfazer suas necessidades e expectativas. Nesse meio, toda a cadeia de produção, operadores, engenheiros, inspetores, técnicos, de todos os departamentos, trabalham em conjunto para garantir a qualidade do produto (OLIVEIRA, 2004).

Em uma empresa inserida nessa era da qualidade, planos de ação são montados com participação de colaboradores que atuam na produção, em áreas de apoio, engenharia de produto e planejamento da qualidade.

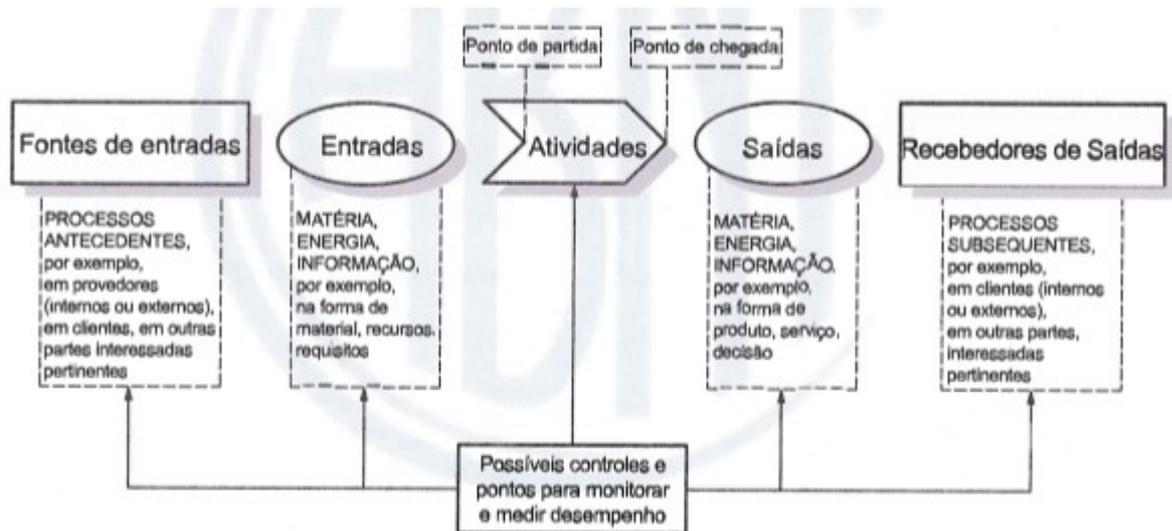
2.3 Ferramentas da qualidade

Ferramentas da qualidade são técnicas, metodologias ou instrumentos que ajudam a identificar, analisar e resolver problemas relacionados à qualidade em uma organização. Essas ferramentas são usadas para coletar dados, analisar processos e informações, identificar problemas e tomar decisões informadas para melhorar a qualidade e eficiência dos processos. São usadas em diferentes setores e organizações para garantir a conformidade com os padrões de qualidade, aumentar a eficiência e reduzir custos. A implementação dessas ferramentas pode ajudar a garantir a satisfação do cliente, aumentar a produtividade, reduzir o retrabalho e melhorar a reputação da organização.

2.3.1 Ciclo PDCA e PDSA

Ao abordarmos um determinado processo envolvemos sua definição e gestão sistemática e suas interações visando obter resultados em acordo com o direcionamento estratégico de qualidade da empresa, como visto na Figura 2. A gestão desses processos que abrangem a organização como um todo pode ser obtida fazendo uso do ciclo PDCA (ABNT, 2015).

Figura 2 – Representação das interações entre elementos do processo

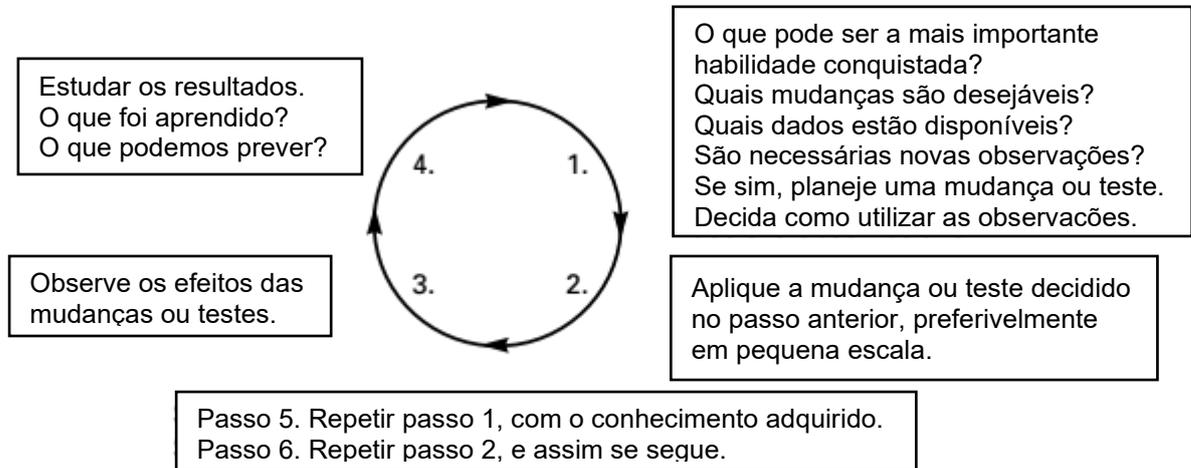


Fonte: ABNT (2015)

O ciclo PDCA (também conhecido como roda de Deming) pode ser considerado uma definição do *loop* de *feedback*, dividido entre diferentes passos e elementos. Certas vezes empregando seis elementos e certas vezes empregando

quatro. Apesar da popularização do termo referenciado a Deming, Deming (1986) se refere como ciclo de Shewhart (JURAN, 1998). Na Figura 3 está uma representação do ciclo PDCA utilizando quatro elementos.

Figura 3 – Ciclo PDCA



Fonte: adaptado de Deming (1986)

O ciclo PDSA (*Plan – Do – Study – Act*) surgiu como uma evolução do ciclo PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), que com os avanços das técnicas da qualidade, deixou de simplesmente checar os resultados de alguma avaliação e passou a analisar a fundo esses dados.

2.3.2 Seis Sigma

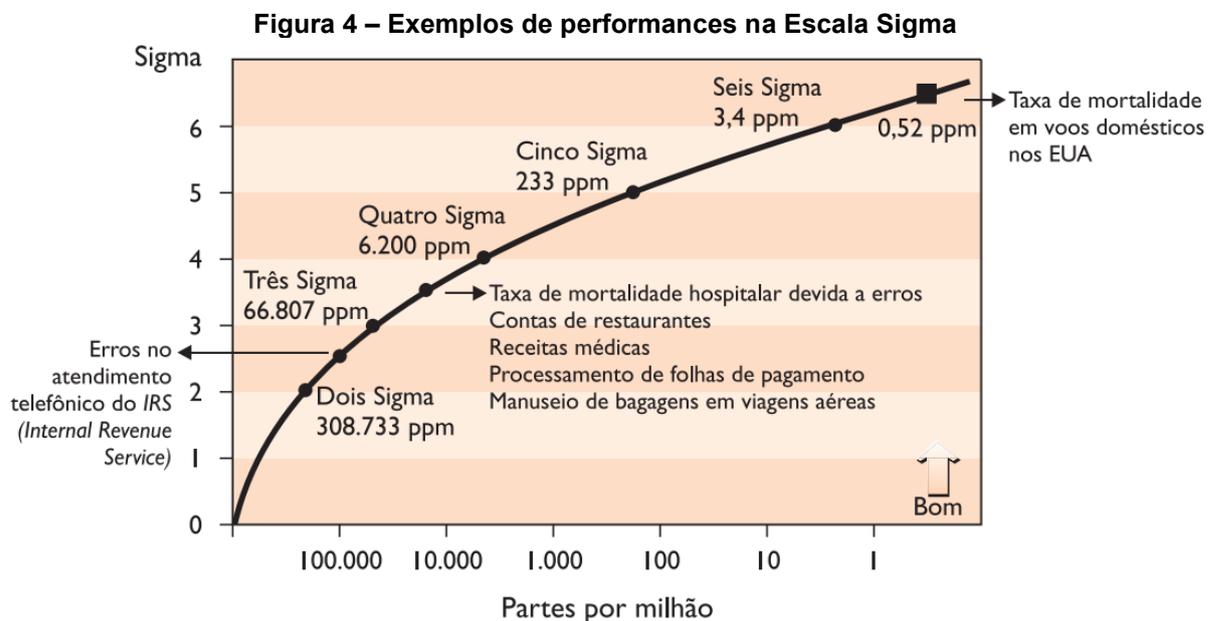
Dentro da empresa de telecomunicações americana Motorola surgiu o programa Seis Sigma, em 1987. Tinha como meta a capacitação da empresa para tornar-se competitiva no mercado, devido a seus concorrentes estarem produzindo produtos mais baratos e com qualidade superior. No ano seguinte a Motorola recebeu o conceituado *Malcolm Baldrige National Quality Award* (Prêmio Nacional da Qualidade Malcolm Baldrige), e a partir de então o programa Seis Sigma se tornou conhecido por ter causado o sucesso da organização (WERKEMA, 2012).

O Controle da Qualidade Total e o Seis Sigma possuem ferramentas associadas, mas tem suas diferenças na gestão de estratégia. O TQC possui como base a melhoria contínua, isto é, um objetivo inalcançável, sendo uma jornada que nunca se atinge a meta, pois quando se atinge, busca-se uma meta mais desafiadora. Já o Seis Sigma impõe alvos bem definidos, aperfeiçoando a resolução de projetos e calcificando os objetivos alcançados. Além disso, o Seis Sigma inclui em sua

abordagem a visão estratégica de negócios na estratégia da qualidade (CAMPOS, 2002).

Werkema (2012) diz que o Seis Sigma pode ser definido de forma geral como uma “estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar drasticamente a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes”.

O Seis Sigma corresponde a uma implantação de princípios, técnicas e ferramentas da qualidade com uma abordagem focada e altamente eficaz, visando um desempenho de produção virtualmente livre de erros. A letra do alfabeto grego σ (sigma), é utilizada para representar a variabilidade de um dado processo, sendo que, este serve também para medir o desempenho do processo. Inicialmente eram aceitáveis processos com índices de defeitos de 6200 a 67000 partes por milhão (ppm), isto é, o número de problemas detectados em montante produzido de um milhão de produtos. Alinhando ao desenvolvimento tecnológico e expectativas de clientes, hoje adota-se em alguns ramos a meta de 3,4 ppm para processos altamente controlados e eficientes, exemplificado na Figura 4 (PYZDEK, KELLER, 2010).



Fonte: Werkema (2004)

As atividades do programa Seis Sigma estão em processos como projeto de produto e serviços, medições e melhoria de desempenho e satisfação do cliente. Seis Sigma inclui ferramentas e práticas que substituem abordagens reativas por estilos de

liderança dinâmico, receptivo e proativo. Proatividade significa ações tomadas a priori de eventos. No Seis Sigma os métodos usados para criar, monitorar e melhorar um sistema de negócios são gestão do processo, processo, melhoria de processos e desenho/redesenho do processo (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2001).

2.3.2.1 Mapa de raciocínio

É um documento que serve de ponto de partida para uma análise dinâmica do raciocínio em volta da execução do projeto. O mapa de raciocínio é um fluxograma que deve se atualizar conforme o andamento do projeto, atualizando com resultados obtidos sejam eles conclusivos ou não. Dentre os conteúdos, deve-se documentar: o objetivo de forma generalizada; conhecimento acerca do assunto; questões para serem respondidas e suas prioridades; o que será realizado para buscar as respostas para as questões impostas; ao obter um resultado para as perguntas, sejam conclusivos ou não, efetuar novas perguntas e suas novas respostas; as ferramentas e métodos utilizados na busca pelas respostas; o conhecimento gerado pelo desenvolvimento do estudo; considerações finais e direcionamento para novos estudos (WERKEMA, 2000).

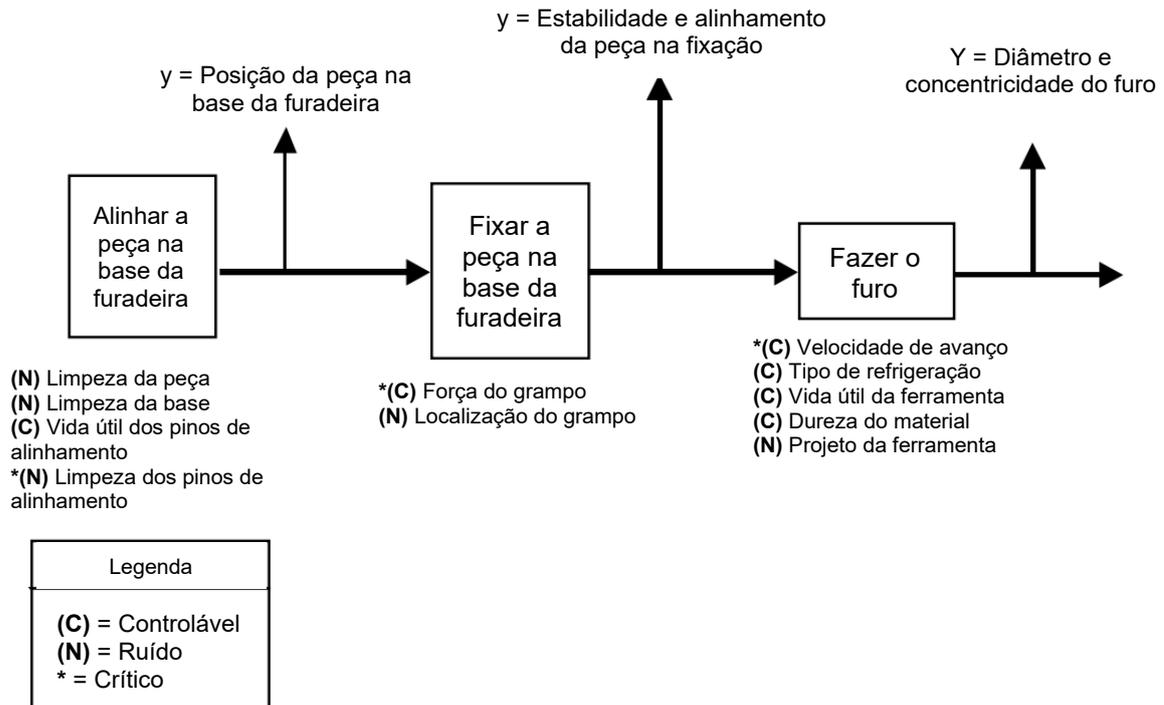
2.3.2.2 Mapa de processo e produto

Estes mapas servem para estratificar as informações que se sabe de determinado processo e produto. Elaborando estes mapas é possível analisar a execução no projeto ou na física do produto, entendendo assim as possibilidades que podem influenciar na variação de determinada característica. Os itens destacados nestes mapas servem para planejamento de um experimento ou análise de variação de determinado componente do produto ou processo, e assim, utilizando o Seis Sigma, pode-se obter quais fatores são realmente críticos para as variáveis em análise.

O objetivo do estudo do processo é obter um melhor conhecimento de como as entradas e variáveis do processo (x) são transformadas em características do produto final (Y), ou $Y = f(x)$. As saídas no processo (y 's) podem ser usadas para monitorar a transição dos parâmetros do processo (x 's) para os atributos do produto final em cada estágio do processo. Quando se decide monitorar os resultados do processo, normalmente o objetivo é garantir que os defeitos do produto sejam

reconhecidos e corrigidos antes que tempo e dinheiro significativos sejam investidos. Na realidade, esses resultados do processo são determinados pelos parâmetros do processo. Em outras palavras, $y = f(x)$ e $Y = g(y) = f(x)$ (SANDERS; ROSS; COLEMAN; 1999).

Figura 5 – Exemplo de mapa de processo



Fonte: Adaptado de Sanders, Ross e Coleman (1999)

Como mostrado na Figura 5, todos os parâmetros potenciais do processo devem ser identificados e categorizados como controláveis (C) ou como ruído (N). A categorização dos x 's como controláveis ou ruídos nos ajuda a entender como os parâmetros estão sendo gerenciados atualmente. Isso ilustra o estado atual da crença do processo, ou seja, como a variação nos parâmetros do processo se traduz em variação nos resultados do processo. As primeiras versões do mapa do processo normalmente se baseiam em teoria científica, conhecimento de engenharia e experiência do operador. Por meio da investigação do processo e de técnicas estatísticas, incluindo DOE (*Design of Experiments*) e CEP (Controle Estatístico de Processo), essa lista de todos os parâmetros do processo pode ser filtrada de modo que os parâmetros críticos do processo sejam identificados. A variação desses parâmetros críticos tem um impacto significativo nas características do produto final,

Y's, ou nos resultados do processo, y's, que, por sua vez, afetam o produto final (SANDERS; ROSS; COLEMAN; 1999).

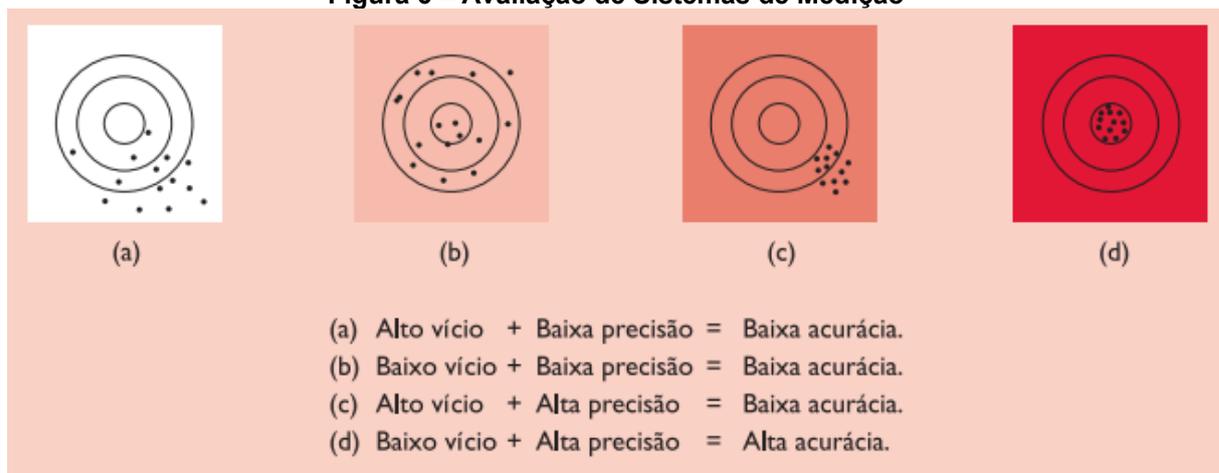
2.3.2.3 MSE

O MSE (*Measurement System Evaluation*), que em português seria Análise de Sistemas de Medição, tem como objetivo validar o sistema de medição utilizado nas coletas de dados sobre as características de interesse sobre o material de análise.

A variação total que um sistema de medição é representada pela somatória de duas fontes de variação, sendo elas, o processo em si e a medição. Para obtermos uma boa confiabilidade na aquisição de dados, precisamos de um sistema de medição que apresente a mínima variação possível, tendo como objetivo detectar as variações no processo, para assim, melhor entendê-las e aplicar as possíveis melhorias (BORGES, 2008).

Werkema (2012) explica que os métodos de Análise de Sistemas de Medição nos permitem quantificar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos por tais sistemas utilizados. Um exemplo das várias classificações de um sistema de medição pode ser visto na Figura 6, mostrando que um sistema preciso não é necessariamente um sistema de medição confiável.

Figura 6 – Avaliação de Sistemas de Medição



Existem termos metrológicos que são avaliados a partir dos dados obtidos pelo sistema de medição para realizar sua avaliação, que são estabilidade: capacidade do instrumento de medida em conservar suas características metrológicas

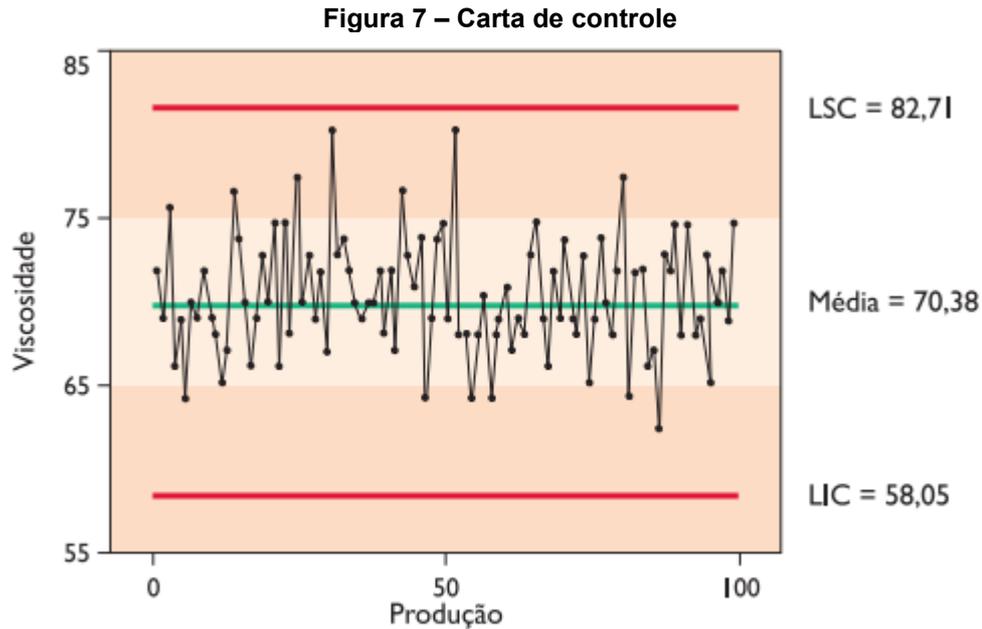
ao longo do tempo; discriminação: representa a menor diferença entre a resolução do dispositivo mostrador de medida; repetitividade: capacidade do instrumento de medição de obter medidas muito próximas, repetindo aplicações do mesmo mensurando sem mudar suas condições de medição; reprodutibilidade: concordância entre as medições realizadas variando as condições; acurácia: diferença entre os resultados obtidos na medição e o valor real da peça em estudo.

O MSE utiliza ferramentas como árvores de amostragem para organização da coleta de dados para responder os questionamentos feitos pelos termos metrológicos apresentados acima (BORGES, 2008).

2.3.2.4 Cartas de controle

Ao identificar as variações identificadas e postas sob controle e as variações que não podem ser controladas, utiliza-se as cartas de controle para demonstrar essas formas de variação no processo. As cartas visam determinar se uma dada sequências de informações obtidas podem ser utilizadas para estabelecer uma previsão do que irá ocorrer no futuro, abordagem de certa forma diferente das consideradas pelas práticas estatísticas, que procuram determinar um modelo teórico sobre um fenômeno natural bem intrínseco aos dados obtidos (BORGES, 2008).

Montgomery (2004) descreve as cartas de controle como sendo a representação gráfica da qualidade obtida a partir de dados coletados ou medidos de uma amostra. Segundo Mucidas (2010), O valor médio da característica em análise é representado por uma linha central em um processo sob controle, com apenas variações aleatórias em ação. É representado também no gráfico as linhas correspondentes ao Limite Superior Especificado (LSE) e o Limite Inferior Especificado (LIE), que delimitam uma área compreendida pelos valores de um processo sob controle. Se uma causa especial for identificada fora dos limites de controle é necessário um estudo de verificação da causa raiz e ações corretivas.



No exemplo da Figura 7, Werkema (2012) explica que, como todos os pontos das medidas obtidas de viscosidade de um determinado produto ao longo do processo produtivo estão dentro dos limites de controle, em um caso com ausência de configurações não aleatórias, então a variação dos pontos é natural ao processo produtivo.

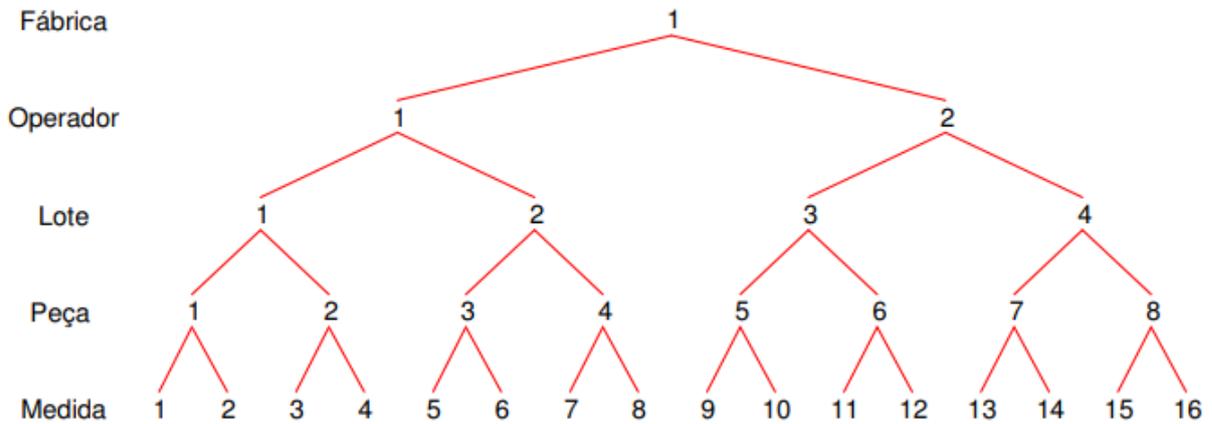
Existem diversos alertas sobre ocorrências que podem indicar um processo fora de controle, que são: pontos discrepantes: quando um ou mais pontos são identificados fora dos limites de controle; tendências: uma repetição de pontos em evidentes ascensão ou queda; deslocamentos: uma sequência contínua de pontos acima ou abaixo da média; ciclos ou periodicidade: pontos alternadamente altos e baixos ou tendências de quedas e ascensão; propensões: quando os pontos traçados no mapeamento caem em sequência juntos a média ou aos limites de controle (PANDE, NEUMAN, CAVANAGH, 2001).

2.3.2.5 Estratégias e árvores de amostragem

São, resumidamente, uma representação da execução de um determinado experimento. Do inglês, *sampling tree*, é um artifício gráfico que demonstra os detalhes do experimento a ser realizado para poder determinar as conclusões a partir dos resultados obtidos. Em sua criação devem ser consideradas as possíveis fontes de variação, podendo ser características do produto, do processo e variações não aleatórias impostas no experimento. Essas variações são criadas a partir de um

método de análise conhecido na qualidade por 6 M's: máquina, material, método, mão de obra, medida e meio ambiente. O objetivo da árvore de amostragem é testar as fontes de variação mapeadas no experimento, o executante, matéria primeira, turno, máquinas, etc., como mostrado na Figura 8 (BORGES, 2008).

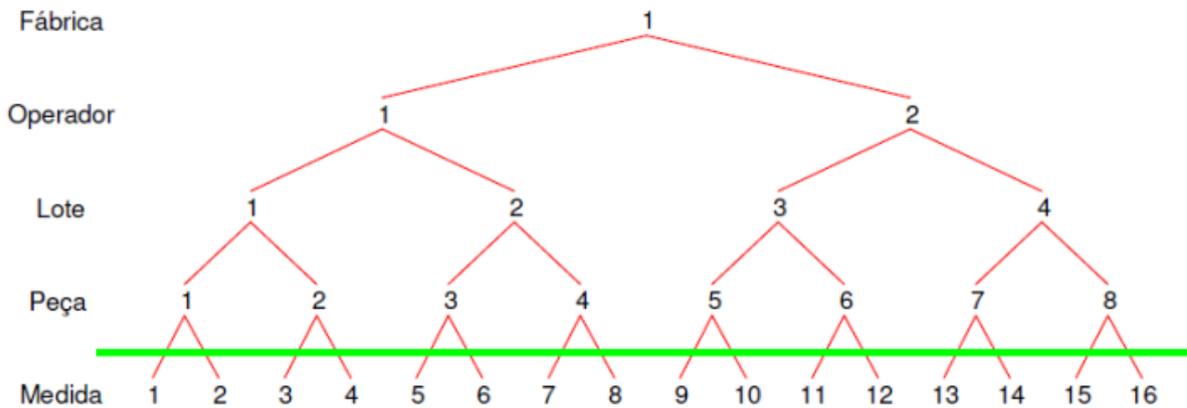
Figura 8 – Exemplo de árvore de amostragem



Fonte: Borges (2008)

Cada árvore de amostragem em sua determinada fase do estudo possui seu formato específico, se adaptando a cada nova pergunta feita no decorrer do projeto. Os resultados dos experimentos devem coletados em subgrupos (amostras), que são o nível da árvore em análise no experimento. Na Figura 9 está em evidência o primeiro subgrupo a ser análise como base na estratégia de amostragem adotada, que a Medida.

Figura 9 – Subgrupo da Medida



Fonte: Borges (2008)

Nota-se que é possível alterar o subgrupo analisado na árvore de amostragem após a análise do primeiro. No exemplo apresentado na Figura 9, o próximo seria o subgrupo Peça, que possuem dois elementos por lote, e poderia ser analisado utilizando os dados obtidos para as medidas de cada peça, e assim seguindo (BORGES, 2008).

2.3.2.6 Planejamento de experimentos

O DOE (*design of experiments*), ou planejamento de experimentos, é uma abordagem estatística que envolve a criação e execução de experimentos estruturados para investigar os efeitos de diferentes variáveis ou fatores em um processo ou sistema. Por meio do DOE, é possível identificar a importância relativa dos fatores, suas interações e determinar as melhores configurações para otimizar o desempenho (MONTGOMERY, 2012).

No contexto do DOE na produção, podem-se encontrar duas categorias de variáveis ou fatores do processo: qualitativos e quantitativos. Para os fatores quantitativos, é necessário determinar a faixa de valores e como eles serão medidos e controlados durante o experimento. Por exemplo, em um processo de moldagem por injeção, a velocidade do parafuso, a temperatura do molde, entre outros, são exemplos de fatores quantitativos. Por outro lado, os fatores qualitativos são de natureza discreta, como o tipo de matéria-prima, o tipo de catalisador, o tipo de fornecedor, e assim por diante. Cada fator pode ter diferentes níveis, dependendo se é quantitativo ou qualitativo. Normalmente, os fatores qualitativos requerem mais níveis em comparação aos fatores quantitativos. O termo "nível" se refere a um valor

ou configuração específica do fator que está sendo examinado no experimento. Por exemplo, se o experimento envolve a utilização de três tipos diferentes de matérias-primas, dizemos que o fator - tipo de matéria-prima - possui três níveis (ANTONY, 2014).

Em suma, o DOE envolve uma série de passos para planejar, conduzir e analisar experimentos de forma eficiente. Primeiro, é importante definir o objetivo do experimento e identificar os fatores que podem influenciar a resposta. Em seguida, determinam-se os níveis dos fatores e escolhe-se o tipo de experimento DOE adequado. Com base nisso, planejam-se as execuções do experimento e coletam-se os dados correspondentes. Posteriormente, realiza-se a análise estatística dos dados, explorando técnicas como a análise de variância (ANOVA) e gráficos de interação. Por fim, tiram-se conclusões sobre os efeitos dos fatores e toma-se decisões informadas. Esses passos são fundamentais para otimizar processos e obter percepções valiosas a partir dos experimentos realizados (MONTGOMERY, 2012).

2.4 Tolerância e análise de dimensões

Todas as máquinas ou peças são fabricadas de acordo com desenhos que mostram sua forma e dimensões em unidades de medida, permitindo a fabricação de um número ilimitado de peças idênticas. No entanto, não pode ser determinado que a forma e as dimensões das peças sejam exatamente as mesmas. Ao fabricar grandes quantidades de peças, a usinagem sempre pode desviar ligeiramente das dimensões especificadas (AGOSTINHO, RODRIGUES, LIRANI, 1977).

2.4.1 Medida nominal

A solução inicial para evitar problemas de variações de forma e dimensões inerentes ao processo seria usinar os componentes o mais próximo possível da medida nominal, trabalho esse que elevaria o custo de operação e diminuiria a produtividade.

O ideal seria determinar um nível de desvio em que o componente possa ser utilizado, para, em caso de não conformidade a peça ser substituída por outra que esteja conforme. Portanto, deve se utilizar a menor precisão possível dentro do desvio para que a peça usinada esteja apta a realizar sua função de maneira correta (AGOSTINHO, RODRIGUES, LIRANI, 1977).

2.4.2 Intercambialidade

Devido aos problemas referentes para atingir a medida nominal de um componente, temos como resultado o problema de intercambialidade, que nada mais é do que a possibilidade de tomar aleatoriamente os componentes para montar um determinado produto em plena condição de funcionamento (AGOSTINHO, RODRIGUES, LIRANI, 1977).

2.4.3 Tolerâncias

A tolerância é um valor absoluto, sem sinal, que compreende o módulo entre a dimensão máxima e a dimensão mínima de especificação (ABNT, 1995).

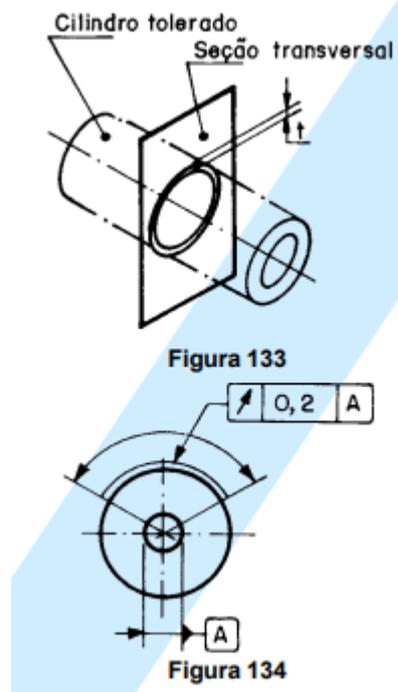
Se baseando na intercambialidade, a tolerância define o produto final de acordo com sua forma, dimensão e acabamento.

Para se obter a intercambialidade, deve estar incluso nos desenhos técnicos do produto os seus limites de especificação mínimo e máximo, utilizando as devidas máquinas para obter peças dentro do campo de tolerância (AGOSTINHO, RODRIGUES, LIRANI, 1977).

2.4.4 Batimento radial

Quaisquer que sejam as superfícies de giro estão sujeitas a variações de ovalização, conicidade, excentricidade, etc. Essas variações então devem ser controladas no processo de produção, de modo que não levem a nenhum impacto na especificação, confiabilidade, durabilidade e desempenho do produto final (AGOSTINHO, RODRIGUES, LIRANI, 1977).

Figura 10 – Representação técnica do batimento radial.



Fonte: ABNT (1997).

Como descrito na Figura 10, a ABNT (1997) delimita a tolerância de batimento circular radial “[...] em qualquer plano perpendicular à linha de centro, por dois círculos concêntricos, afastados de uma distância “t”, cujos centros coincide com a linha de referência”.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo se apresenta o problema abordado no trabalho, bem como os métodos utilizados no planejamento e obtenção dos dados experimentais.

3.1 A empresa

A fábrica de motores onde foi desenvolvido o estudo encontra-se uma empresa de soluções energéticas. O parque fabril possui uma área total de 944.000 m², sendo 334.000 m² de área construída, possuindo cerca de 14.000 colaboradores. A empresa possui um extenso catálogo de soluções, sendo o principal: motores elétricos industriais, geradores eólicos, geradores hidráulicos, placas solares, soluções para indústria 4.0, motores elétricos de tração veicular, transformadores, entre outros.

Figura 11 - Modelo do motor elétrico trifásico utilizado no estudo



Fonte: autoria própria (2023)

Na Figura 11 é possível visualizar a característica especial do eixo analisado no trabalho, sua ponta dianteira possui um comprimento maior ao ser comparado com motores elétricos padrões.

3.2 Contextualização do problema

A empresa em que foi desenvolvido o estudo possui um grande portfólio de produtos, além de atender a pedidos específicos de clientes. Um desses clientes tem pedido motores elétricos com eixo especial, chamado de eixo polia longa.

Atender a qualidade do produto resulta em atender os requisitos do cliente, então, esse eixo polia longa devido a seu elevado comprimento sem apoio, está mais suscetível a problemas de batimento radial, que possui limite de especificação de 109 μm como limite superior, isto é, ao realizar a medida do batimento radial em qualquer ponto do eixo, utilizando um relógio comparador com resolução de 0,001 mm, a variação do ponteiro não pode ser maior do que 109 μm .

Em termos de ações paliativas envolvendo o batimento radial na ponta dos eixos polia longa, foi incluído a inspeção dessa cota em 100% dos motores com essa característica, em diferentes etapas do processo de produção. A operação de inspeção é onerosa, elevando o valor agregado do produto, valor esse que não é repassado ao cliente pois é uma medida de remediação de um problema específico. Esses valores de inspeção, somados aos valores gastos com garantia de motores que apresentaram o problema já no cliente, justifica o estudo com a abordagem Seis Sigma para análise da causa raiz.

3.3 Materiais e métodos

O estudo realizado utilizou uma metodologia de análise Seis Sigma para investigar a variação do batimento radial nos eixos. A metodologia seguiu um mapa de raciocínio, onde foram feitas perguntas para orientar a busca pelas respostas.

Ao iniciar o estudo e montar o mapa de raciocínio sobre as possíveis causas de variação do batimento radial nos eixos, devem ser feitas perguntas para nortear a busca pela resposta, a primeira delas seria “Qual o problema/impacto para a empresa?”. Buscando dados históricos e registros internos, foram identificadas diversas ocorrências do problema, sejam internos e também no cliente externo. O custo (que não pode ser divulgado por ser dado sensível da empresa) envolvido com garantia já representava uma justificativa para realizar esse trabalho, somado também com a imagem da empresa envolvida em defeitos que foram percebidos no cliente.

Seguindo no mapa de raciocínio, a próxima pergunta seria “O que, no processo, produto ou projeto pode influenciar na ocorrência do batimento radial acima

do valor de especificação?”. Para dar início as análises e experimentos, abordamos primeiro o que temos mais fácil acesso, seja para modificar, acompanhar ou realizar experimento, e que tem potencial para trazer bons resultados, que nesse caso seria desenvolver um estudo em cima do processo.

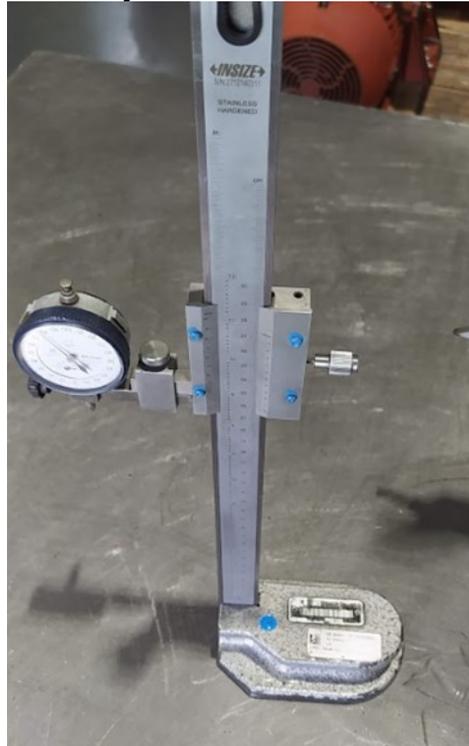
Na operação de montagem do conjunto rotor com eixo no interior do conjunto carcaça com estator, foram identificadas variáveis controláveis, ajustáveis e gerenciáveis, como a variação do lado em que foi utilizado o dispositivo de içamento do conjunto rotor mais eixo e a velocidade do motor do dispositivo que realizou a movimentação. O mapa de processo também identificou variáveis críticas, que tiveram uma grande influência sobre a saída do processo.

Na operação de medição do batimento radial do eixo, foram analisadas variáveis críticas, como o instrumento de medição, o método de medição e a resolução do instrumento.

3.3.1 Equipamentos de medição

Os equipamentos de medição utilizados incluíram um relógio comparador analógico, da marca Mitutoyo, modelo 2109S-10, com resolução de 1 μm , acoplado a uma base traçadora de altura analógica, da marca Insize, modelo 1250-300, sobre uma mesa de medição de metal.

Figura 12 – Conjunto de instrumentos de medição



Fonte: autoria própria (2023)

O estudo incluiu a análise de repetibilidade e reprodutibilidade do sistema de medição utilizado.

3.3.2 *Software* de análise estatística

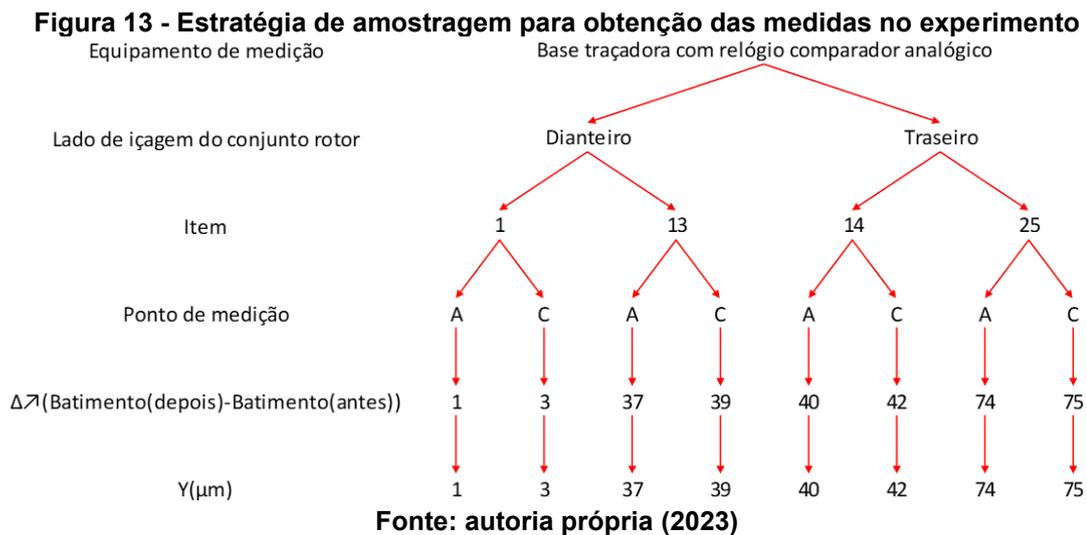
O *software* JMP foi utilizado para a análise estatística dos resultados obtidos. O JMP é um *software* estatístico e de análise de dados desenvolvido pela SAS Institute e a versão utilizada no desenvolvimento do trabalho foi a JMP Pro 16.0.0. Ele oferece uma ampla gama de recursos e ferramentas para explorar, visualizar e interpretar dados, permitindo realizar análises estatísticas avançadas.

Após obter as medidas antes e após a montagem dos motores, o *software* foi empregado para realizar análises estatísticas abrangentes. Primeiramente, as medidas obtidas foram comparadas com as especificações estabelecidas, a fim de determinar se a variação estava dentro dos limites aceitáveis. Além disso, o JMP foi utilizado para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do sistema de medição, verificando se as medições eram consistentes quando repetidas e se diferentes operadores obtinham resultados semelhantes. Por fim, o *software* permitiu a comparação das medidas antes e após a montagem, possibilitando a identificação de

possíveis alterações significativas e a avaliação do impacto da montagem no batimento radial.

3.3.3 Planejamento do experimento

No experimento, foi estudado a influência do lado do eixo em que foi acoplado o dispositivo de içamento. Metade de um lote foi montado com o conjunto rotor sendo içado pelo lado dianteiro (lado do eixo com a ponta longa) e a outra metade pelo lado traseiro. As medidas de batimento radial foram obtidas antes e após a montagem dos motores. Na Figura 13 está contida a estratégia de amostragem utilizada no experimento, figura essa que foi montada utilizando um suplemente interno da empresa no *software* Microsoft Excel Pro 2016.



Os resultados das medições foram analisados, incluindo a verificação da variação das medidas em relação à especificação e a comparação das medidas antes e após a montagem. O estudo buscou identificar a causa da variação do batimento radial e propor ações de melhoria no processo.

4 RESULTADOS

Neste capítulo será demonstrado o experimento e coleta de dados no processo de montagem dos motores elétricos.

4.1 Mapa de processo

Chamamos de Y1 o resultado que buscamos ao final do processo, e o mapeamento é feito com objetivo de descrever cada operação realizada, bem como suas variáveis.

Figura 14 – Operação 1 e seu resultado y1

1	Acomodar o rotor completo no interior do estator	
Cc	Cr	x's
	C	x1.1 - Dispositivo para movimentação do rotor completo
	C	x1.2 - Proteção contra choques mecânicos do rotor com o estator

y1 = rotor completo encaixado no interior do estator

Fonte: autoria própria (2023)

Na Figura 14 está descrito as variáveis (x's) presentes na operação de montagem do conjunto rotor com eixo no interior do conjunto carcaça com estator. Na coluna Cr é definido as classes das variáveis, sendo classificada como C as variáveis podem ser controladas, ajustadas e gerenciáveis, seja pelo operador, projetista ou engenheiro. Nesse caso variando o lado em que utilizado o dispositivo para içar o conjunto rotor mais eixo, ou também mudando a velocidade do motor que realiza a movimentação. Para a variável x1.2 pode ser trocada a proteção, de acordo com a necessidade do produto. A coluna Cc define quais das variáveis são críticas para o processo, ou seja, quando apresentam uma grande influência sobre a saída do processo. A criticidade é definida pelo conhecimento dos especialistas da área, bem como pode ser objetivos de experimentos posteriores.

Na Figura 14, o y1 representa o resultado esperado da operação 1, com todas as suas variáveis dentro da especificação da norma operacional.

Figura 15 – Operação 2 e seu resultado y2

2		Montar tampas dianteira e traseira
Cc	Cr	x's
	C	x2.1 - Torque do aperto dos parafusos
	C	x2.2 - Sequência de aperto dos parafusos
X	SO	x2.3 - Encaixe do rolamento no assento
	SO	x2.4 - Fixação do anel
X	SO	x2.5 - Encaixe da tampa na carcaça
X	SO	x2.6 - Montagem do ImproSeal

y2 = tampas encaixadas e parafusadas conforme especificação de montagem

Fonte: autoria própria (2023)

Na operação 2 do mapa de processo, descrito na Figura 15, temos mais variáveis com influência no processo. Agora está inclusa também a classificação SO na coluna Cr, que significa procedimento padrão para a operação. A classificação das variáveis nessa operação é mais complexa de ser feita, pois, de certa forma, todas as variáveis são controláveis, mas também representam um procedimento padrão. Lembrando que a forma em que o processo é descrito no mapa não é imutável, mudanças podem acontecer de acordo com o andamento do estudo a cada resposta obtida.

Como resultado da operação 2, na Figura 15 temos y2, que representa a montagem das tampas seguindo a norma operacional e também possuindo todos os seus componentes de acordo com suas especificações.

Na terceira e última operação mapeada no processo, está a ação de obter os valores de batimento radial do eixo, operação essa que não é normatizada, mas que foi incluída a operação para inspecionar o produto antes de ser enviado ao cliente.

Figura 16 – Operação 3 e seu resultado y3

3		Medir batimento radial do eixo
Cc	Cr	x's
X	C	x3.1 - Instrumento de medição
X	C	x3.2 - Método de medição
X	C	x3.3 - Resolução do instrumento
	N	x3.4 - Local de medição
	N	x3.5 - Condições do ambiente
	C	x3.6 - Colaborador

y3 = batimento radial
dentro do limite de
especificação

Fonte: autoria própria (2023)

Na operação de medição temos algumas variáveis críticas que devem ser minuciosamente analisadas e estudadas, o instrumento de medição, o método de medição e a resolução do instrumento, qualquer condição definida para cada uma dessas variáveis pode causar um impacto significativo nos resultados do processo.

O resultado da terceira e última operação, destacado na Figura 16, é também, por consequência, o objetivo do final de processo.

Com a primeira versão do mapa de processo em mãos, é possível planejar as ações a serem tomadas a partir das variáveis mapeadas, presente no plano de ação da Figura 17.

Figura 17 – Plano de ação inicial

Actions
1. R&R do instrumento de medição:
-Base traçadora com relógio comparador analógico.
2. Experimento para avaliar variação no batimento radial do eixo na montagem:
- Lado do eixo em que é fixado o dispositivo para içar o conjunto rotor e montar no conjunto carcaça+estator;

Fonte: autoria própria (2023)

O foco do primeiro ciclo de estudo acerca do problema de variação no batimento radial dos eixos seria então realizar um experimento no processo de montagem, onde iríamos estudar a influência que a içagem do rotor completo por determinado lado tem na variação do batimento do eixo utilizando métodos de análise estatística.

Figura 18 - Rotor completo içado pelo lado traseiro



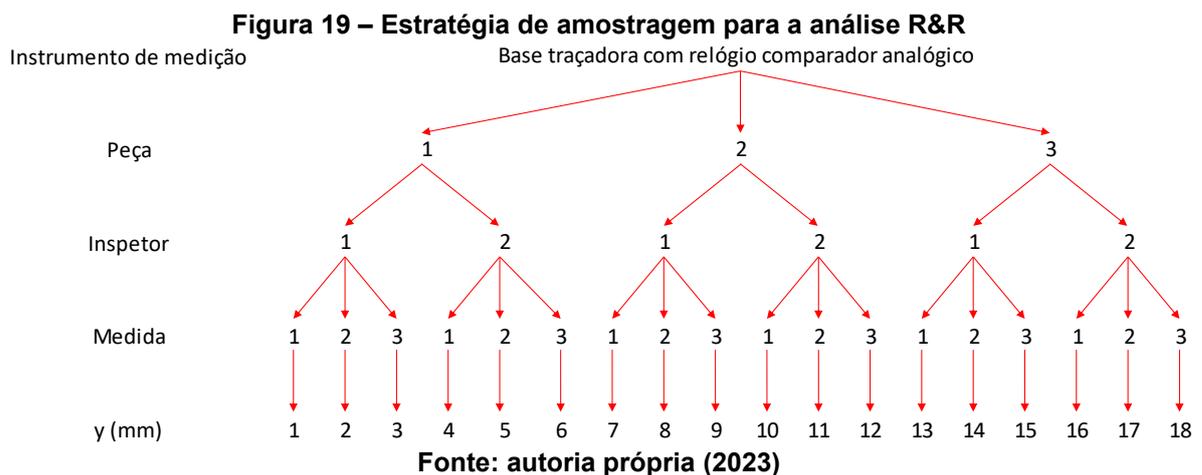
Fonte: autoria própria (2023)

Como experimento planejado envolve obter determinadas medidas do eixo faz-se necessário uma validação do sistema de medição utilizado, garantindo que as medidas reflitam o máximo possível apenas as variações no produto. Como foi planejado o uso de apenas um sistema de medição, foi feito uma análise de repetibilidade e reprodutibilidade.

4.2 Análise do sistema de medição

Para início da validação, os instrumentos de medição escolhidos foram um relógio comparador analógico acoplado a uma base traçadora de altura analógica sobre uma mesa de medição de metal.

Definidos os instrumentos utilizados, foi montada uma estratégia de amostragem para obtenção dos dados, com três itens de um mesmo modelo de motor elétrico e conseqüentemente o mesmo valor especificado de limite de batimento radial do eixo, dois inspetores para realizar a medição, sendo que a medição foi repetida três vezes em cada item por cada inspetor. Em cada repetição de medida do item o inspetor posiciona o relógio comparador no ponto de medição, obtém a medida, afasta o relógio comparador e o reposiciona para a próxima repetição



Realizadas as medidas seguindo a estratégia de amostragem, foram obtidos os resultados presentes na Tabela 1.

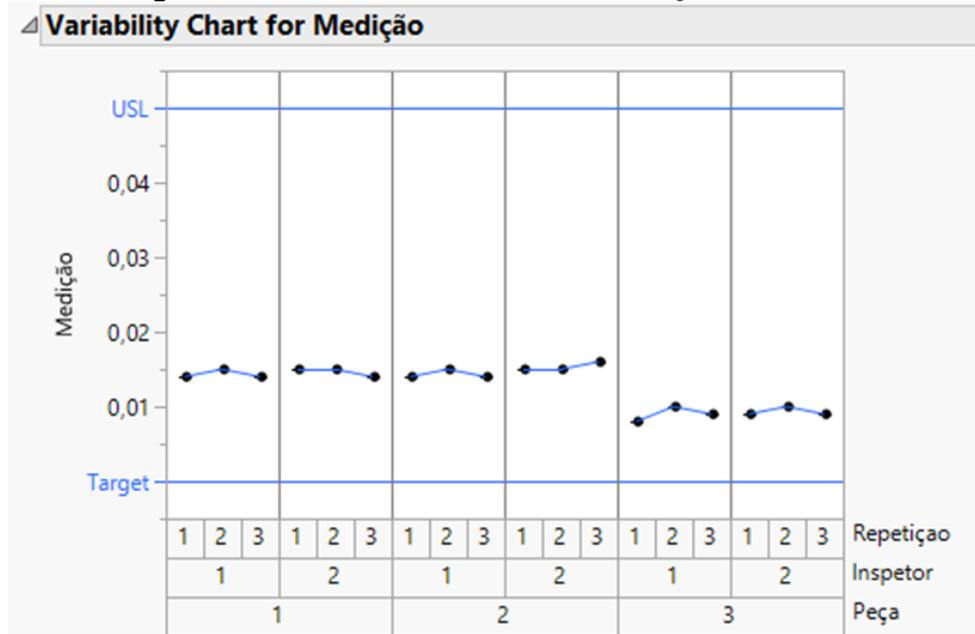
Tabela 1 – Valores obtidos nas medições para a análise R&R

Peça	Inspetor	Medida	y (mm)	Y (mm)
1	1	1	1	0,014
1	1	2	2	0,015
1	1	3	3	0,014
1	2	1	4	0,015
1	2	2	5	0,015
1	2	3	6	0,014
2	1	1	7	0,014
2	1	2	8	0,015
2	1	3	9	0,014
2	2	1	10	0,015
2	2	2	11	0,015
2	2	3	12	0,016
3	1	1	13	0,008
3	1	2	14	0,010
3	1	3	15	0,009
3	2	1	16	0,009
3	2	2	17	0,010
3	2	3	18	0,009

Fonte: autoria própria (2023)

Com os resultados das medições para a análise de reprodutibilidade e repetibilidade, foi utilizado o programa de auxílio a análise estatística JMP software. A primeira estratificação dos resultados foi feita utilizando a carta de variabilidade, presente na Figura 20.

Figura 20 - Carta de variabilidade das medições realizadas



Fonte: autoria própria (2023)

Analisando os pontos no gráfico da Figura 20, não foi identificada nenhuma causa especial, a variação das medidas em cada repetição apresentou boa discriminação, que seria a variação esperada em torno dos valores reais da peça medida. Todos os eixos medidos estavam dentro dos valores de especificação do batimento radial, que possui um valor alvo de 0 mm, e limite superior de 0,05 mm, apesar de existis uma certa variação do processo de produção, que será representada na próxima análise.

O *software* JMP possui uma infinidade de funções de análise estatística, para montar gráficos e cartas de controle. No estudo foram inseridos os dados da Tabela 1 para realizar uma análise seguindo os níveis de parâmetros utilizados: peça, inspetor e repetição da medida. A partir disso, podemos diversos resultados de análise estatística já estratificados para estudo, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Resultados da análise R&R

Gauge R&R					
Measurement Source		Variation (6*StdDev)	% of Tolerance		which is 6*sqrt of
Repeatability	(EV)	0,00321455	6,43	Equipment Variation	V(Within)
Reproducibility	(AV)	0,01914903	38,30	Appraiser Variation	V(Peça) + V(Inspetor)
Peça		0,01903360	38,07		V(Peça)
Inspetor		0,00209938	4,20		V(Inspetor)
Gauge R&R	(RR)	0,01941696	38,83	Measurement Variation	V(Within) + V(Peça) + V(Inspetor)
Part Variation	(PV)	0,00229734	4,59	Part Variation	V(Repetição)
Total Variation	(TV)	0,01955240	39,10	Total Variation	V(Within) + V(Peça) + V(Inspetor) + V(Repetição)

6 k
 99,3073 % Gauge R&R = 100*(RR/TV)
 8,45193 Precision to Part Variation = RR/PV
 0 Number of Distinct Categories = 1.41*(PV/RR)
 0,05 Tolerance = USL-LSL
 0,38834 Precision/Tolerance Ratio = RR/(USL-LSL)
 Using last column 'Repetição' for Part.

Variance Components for Gauge R&R							
Component	Component	Var	% of Total	20 40 60 80			
Gauge R&R	0,00001047		98,62				
Repeatability	0,00000029		2,70				
Reproducibility	0,00001019		95,92				
Part-to-Part	0,00000015		1,38				

Fonte: autoria própria (2023)

Seguindo os parâmetros do método utilizado, a porcentagem de desvio da tolerância causada pelo instrumento de medição, a repetibilidade, representada por EV (*equipment variation*) na Figura 21, e pelo inspetor que realiza a medida, a reprodutibilidade, representada por AV (*appraiser variation*), não pode ser maior que 10% do campo de tolerância da cota de batimento radial.

Pelos resultados da análise realizada no software, a repetibilidade representou 6,43% da variação das medidas, resultado que aprova o sistema de medição nesse quesito. Para a reprodutibilidade, o resultado inicial foi de que esse quesito representou 38,3% da variação das medidas no campo de tolerância, sendo que esse valor bruto iria reprovar o sistema de medição. Porém, foi identificado que a grande maioria dessa variação foi causada pelas diferentes medidas reais das peças em que foram obtidas os valores de batimento radial, e que apenas 4,2% da variação total do campo de tolerância foram causados pelos inspetores, resultado esse que torna o sistema de medição válido para ser usado no experimento planejado.

4.3 Desenvolvimento do experimento

Para realizar o primeiro experimento sobre a variação do batimento radial nos eixos especiais foi analisado o mapa de processo para decidir qual a variável do processo a ser estudada. Testando então a primeira hipótese: o lado do eixo em que

é acoplado o dispositivo de içagem, seguindo a teoria de que, ao acoplar o dispositivo no lado com a ponta mais longa do eixo, é causada uma reação devido ao peso do pacote do rotor, que causa uma deformação naquele ponto, sendo que a deformação resultante na extremidade do eixo pode ultrapassar o limite de especificação do batimento radial. Para isso, foi executado um DOE (*design of experiments*), que consiste em realizar a montagem de metade de um lote içando o conjunto rotor pelo lado dianteiro (lado do eixo com a ponta longa), e a outra metade pelo lado traseiro, para assim, analisar a variação causada no batimento antes e após a montagem.

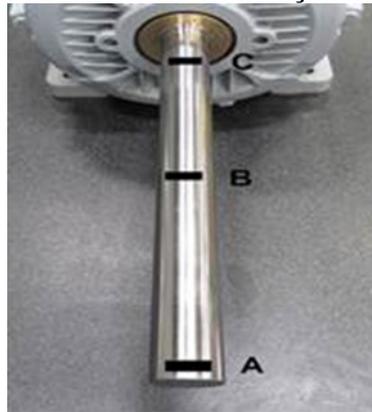
Figura 22 - Conjunto rotor com eixo polia longa



Fonte: autoria própria (2023)

Ao receber o conjunto rotor na fábrica, foram numerados os itens em seus *pallets*, evidenciados na Figura 22 e realizadas as medidas de batimento radial nos eixos, em três pontos diferentes, A, extremidade do eixo, B, metade da distância entre a extremidade e o assento do rolamento e C, próximo ao assento do rolamento, como mostra a Figura 23.

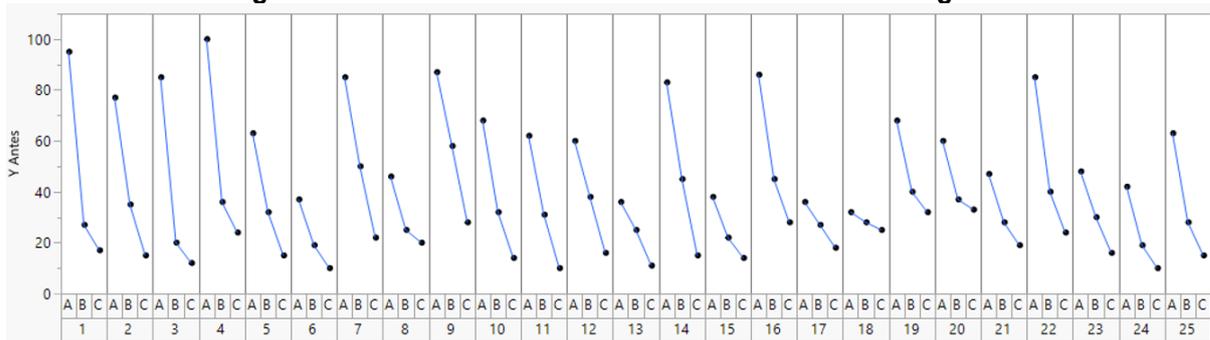
Figura 23 - Pontos de medição no eixo



Fonte: autoria própria (2023)

Na Figura 24 são apresentadas as medidas obtidas na medição do batimento antes da montagem, divididas entre a identificação do item de 1 a 25 e o ponto de medição. Sendo que, os itens de 1 a 13 seriam montados pelo lado dianteiro e de 14 a 25 pelo lado traseiro.

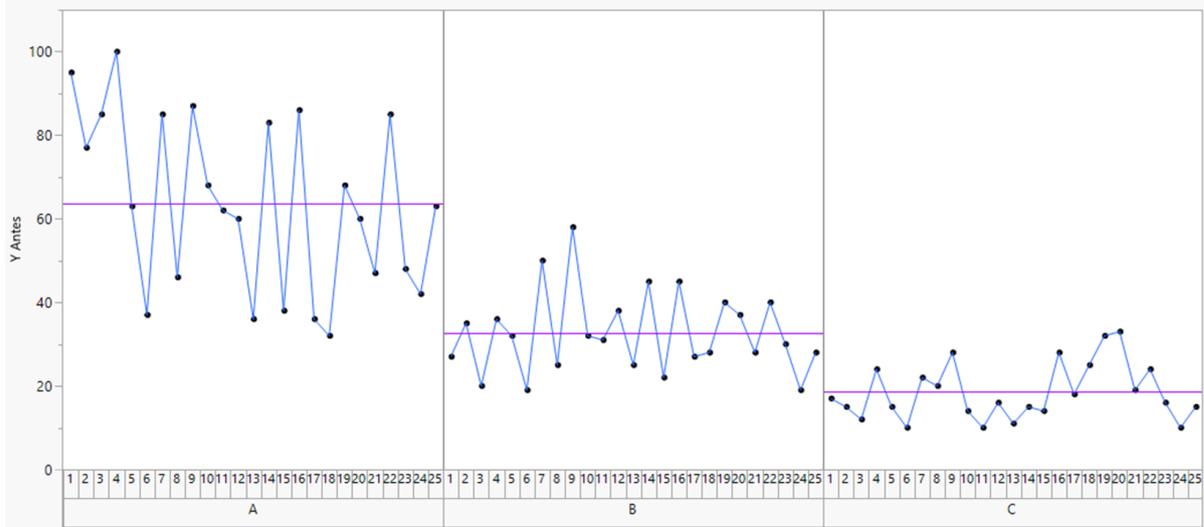
Figura 24 - Medidas do batimento radial antes da montagem



Fonte: autoria própria (2023)

Ao analisar as medidas, de início já podemos perceber que, apesar das medidas de batimento radial estarem dentro da especificação de 109 µm, existe uma variação significativa, acusando que o processo de fabricação não é robusto, apresentando um grande valor de desvio padrão, o que acarreta em maiores chances de ocorrer não conformidades na produção ao longo do tempo.

Agrupado os resultados entre os pontos de medição podemos ver com mais clareza os desvios de batimento radial em A, B e C, na Figura 25.

Figura 25 - Medidas do batimento radial antes da montagem separados por ponto de medição

Fonte: autoria própria (2023)

No item 4, a medida de batimento no ponto A chegou a 100 μm , enquanto no item 18 esse mesmo ponto apresentou um valor de 32 μm , diferença de 68 μm . O desvio padrão dessas medidas é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Média e desvio padrão das medidas antes da montagem

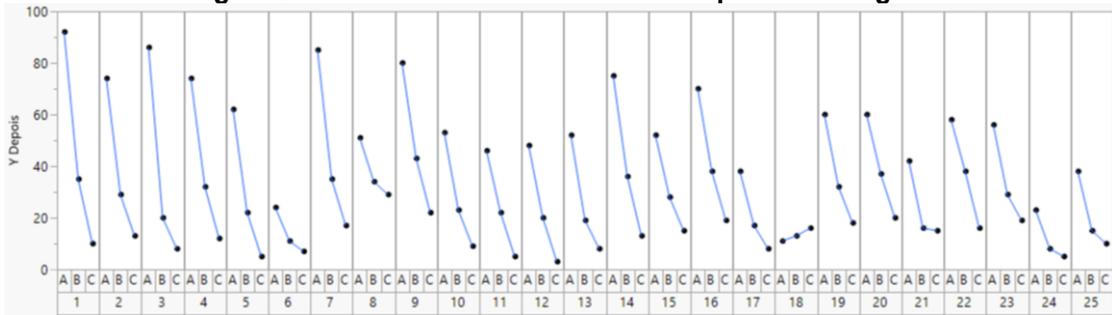
	Média (μm)	Desvio Padrão (μm)
Y antes	38,25333	23,39271
Ponto de medição A	63,56	20,95447
Ponto de medição B	32,68	9,839207
Ponto de medição C	18,52	6,80147

Fonte: autoria própria (2023)

O valor de 20,95447 μm para o desvio padrão no ponto A representa uma grande dispersão das medidas para a média apresentada, indicando um processo de produção a ser melhorado. Porém, ainda com os valores dispersos, damos continuidade no experimento, obtendo informações sobre o comportamento da variação das medidas nos itens com suas variadas características.

Para as medidas de batimento radial no eixo após a realização da montagem dos motores, temos os resultados na Figura 26.

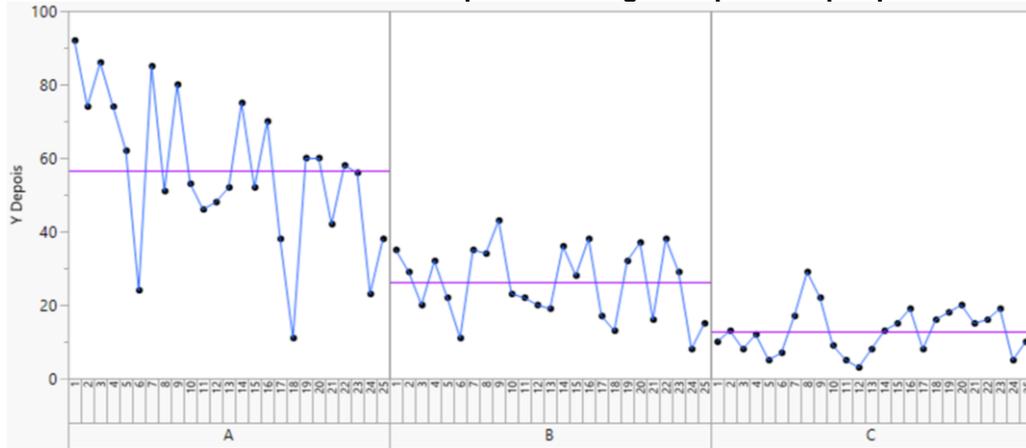
Figura 26 - Medidas do batimento radial após a montagem



Fonte: autoria própria (2023)

Em análise inicial as medidas obtidas após a montagem a se assemelham muito com as medidas antes da montagem, seguindo a mesma tendência de possuir um valor maior de batimento no ponto A, que diminui até o ponto C, salvo exceções.

Figura 27 - Medidas do batimento radial após a montagem separados por ponto de medição



Fonte: autoria própria (2023)

Separando as medidas por pontos de medição na Figura 27, ainda vemos uma grande dispersão dos pontos em torno da média. Porém, notamos que a média dos valores de batimento radial diminuiu, fato que de certa forma vai contra a hipótese de que a montagem causa o aumento do batimento radial.

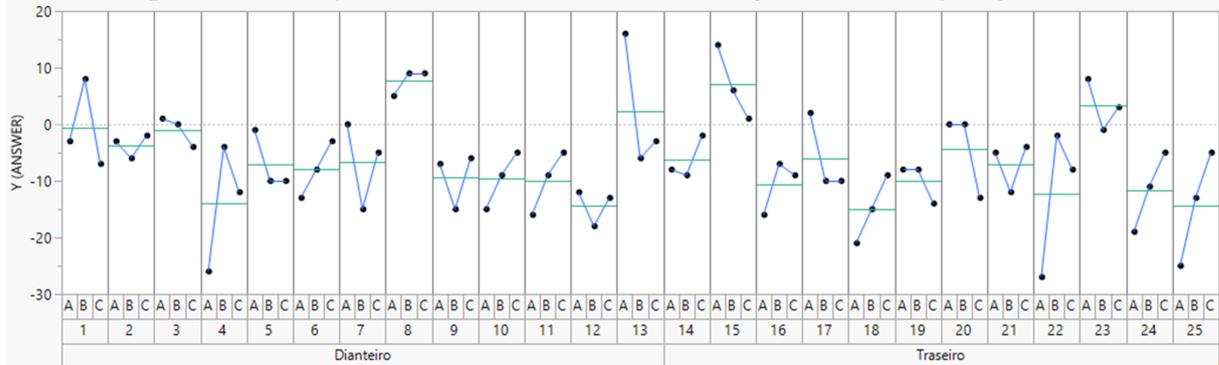
Tabela 3 – Média e desvio padrão das medidas após a montagem

	Média (μm)	Desvio Padrão (μm)
Y depois	31,78667	22,73721
Ponto de medição A	56,4	20,51219
Ponto de medição B	26,08	9,78911
Ponto de medição C	12,88	6,333246

Fonte: autoria própria (2023)

O próximo passo foi analisar a variação de medida do batimento de cada item, em cada ponto, na Figura 28.

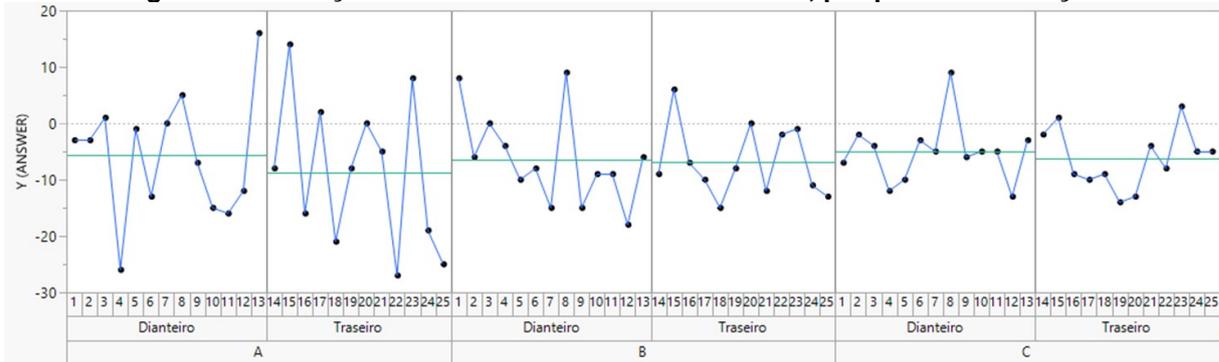
Figura 28 - Variação do batimento radial em cada ponto de medição, por item



Fonte: autoria própria (2023)

Inicialmente, o que se esperava da variação, seria um resultado parecido com a variação identificada no item 15, com um aumento da medida do batimento no ponto A, seguido de outro aumento, mas menos significativo, no ponto B e C. Porém, o que aconteceu foi uma diminuição das medidas de batimento na grande maioria dos itens.

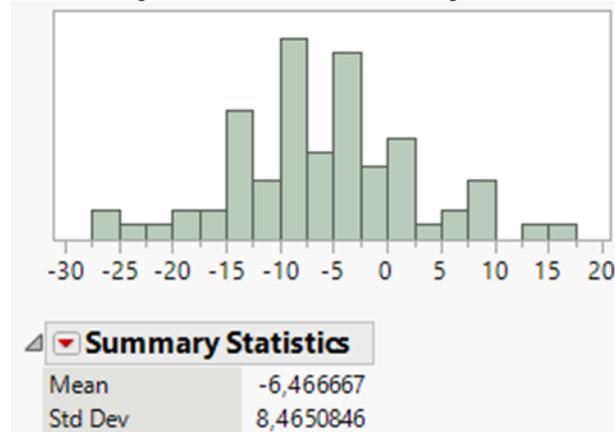
Figura 29 - Variação do batimento radial em cada item, por ponto de medição



Fonte: autoria própria (2023)

Analisando a variação, dividida por ponto de medição na Figura 29, podemos identificar que houveram pontos em que tiveram um aumento do batimento, porém, a maioria teve uma diminuição que puxou a média para um valor negativo. Até mesmo a variação das medidas no ponto C foi significativa, ponto esse que se esperava permanecer com a variação bem próxima de zero.

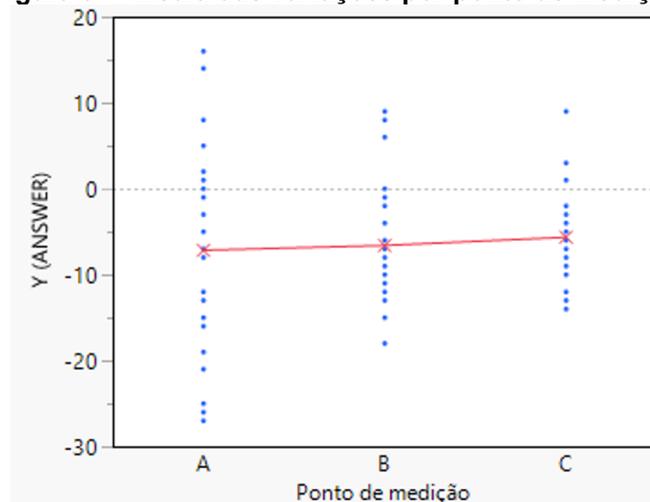
Figura 30 - Distribuição dos valores de variação do batimento radial



Fonte: autoria própria (2023)

Na Figura 30 temos a média total das variações de batimento radial no eixo foi de $-6,47 \mu\text{m}$, com um desvio padrão da $8,465 \mu\text{m}$.

Figura 31 - Média das variações por ponto de medição

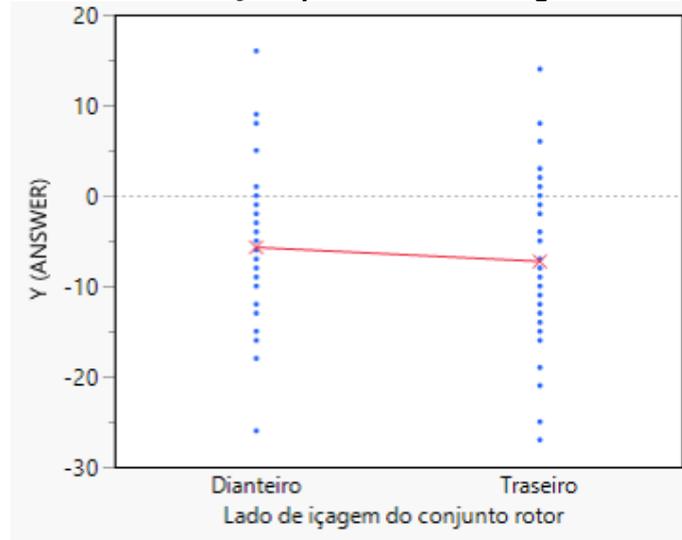


Fonte: autoria própria (2023)

Na Figura 31 podemos ver como se distribui a variação do batimento por ponto de medição, todos apresentando uma média negativa, com grande desvio.

Com os dados obtidos no primeiro experimento foi possível tirar algumas conclusões e traçar um caminho para o próximo experimento a ser realizado. Das conclusões, podemos afirmar que ocorre a variação do batimento radial durante a montagem, porém, a variação no geral melhora os resultados, pois as medidas de batimento diminuem. A minoria que teve aumento dos valores de batimento também será levada em conta ao traçar o próximo ciclo de análise.

Figura 32 - Média das variações por lado de montagem do conjunto rotor



Fonte: autoria própria (2023)

Sobre o DOE para analisar as diferenças entre a montagem do conjunto rotor pelo lado dianteiro ou traseiro, não podemos afirmar que um ou outro tiveram resultados discrepantes, pois, apesar da variação ser maior na montagem traseira, ainda ficou muito próximo da variação média da montagem dianteira, resultado presente na Figura 32. Mais testes seriam necessários para atestar se isso corresponde a uma variável crítica ou apenas um ruído no processo.

A próxima análise a ser realizada seria, após repetir o experimento de forma similar, segregar um menor número de motores montados, de preferência os que apresentarem resultados nitidamente discrepantes, ou seja, itens que apresentaram variação positiva, itens que apresentaram variação negativa e itens que apresentaram a menor variação, desmontá-los e aplicar a técnica conhecida como *swap components*, isto é, trocar os conjuntos de componentes para tentar identificar uma causa especial, não somente no conjunto rotor, mas nas tampas do motor, conjunto carcaça com estator, entre outros. Ainda assim, podemos realizar as medidas dos componentes em uma máquina de medição por coordenada, obtendo as medidas das cotas críticas de cada um para buscar uma correlação ou se há influência da cadeia de tolerâncias do conjunto no resultado final (*stack up*).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de aplicar a metodologia Seis Sigma para análise das variáveis de processo que causam a variação da medida de batimento radial em eixos especiais durante a produção de motores elétricos trifásicos destacam as seguintes conclusões: (i) o processo de produção dos eixos que chegam na fábrica para serem montados não apresenta uma boa estabilidade, tendo em vista que seus valores de batimento radial no ponto A, que apresenta os maiores valores, possuía um desvio padrão de 20,96 μm , o que foi refletido na dispersão dos pontos medidos, em torno de sua média; (ii) o processo de montagem do motor reduz os valores de batimento radial nos eixos na grande maioria dos itens analisados, visto que a média dos valores de batimento radial no ponto A após a montagem foram reduzidos para 56,4 μm , contra 63,56 μm de antes da montagem. O valor de desvio padrão não teve mudança significativa, sendo 20,51 μm , contra 20,95 μm de antes da montagem; (iii) o lado de montagem do conjunto rotor mais eixo não se mostrou uma variável crítica no processo, como é mostrado na Figura 32, seus valores globais de variação do batimento radial obtidos pela diferença do batimento antes e após a montagem, ficaram entre -5 e -10 μm , o que não justifica a alteração no processo padrão, que é a montagem pelo lado dianteiro do conjunto; (iv) de maneira a melhorar o controle do processo de produção dos eixos, recomenda-se montar um grupo de trabalho, envolvendo engenheiros, técnicos e inspetores da fábrica de eixos, bem como da fábrica de motores em que foi desenvolvido o estudo, para discutir e propor melhorias a fim de estabilizar o processo e consequentemente obter medidas mais homogêneas do batimento radial do eixo antes da montagem.

Análises mais detalhadas das tolerâncias e medições dos componentes são recomendadas para identificar oportunidades de melhoria. O estudo do batimento radial é crucial para garantir a qualidade dos motores, e futuros experimentos podem aprofundar a compreensão do fenômeno e otimizar o processo de fabricação.

Devido à complexidade envolvida no estudo da variação do batimento radial no eixo, podendo haver variáveis que não foram consideradas ou que são ainda desconhecidas, é recomendado que em estudos futuros sejam aplicadas ferramentas mais complexas da metodologia Seis Sigma, como análise de sobrevivência, que acompanha a utilização do produto no cliente até sua falha e depois identifica os principais fatores que tiveram efeito ou também análise de regressão multivariada,

que analisa a relação entre diversas variáveis independentes e variáveis dependentes do produto e como elas interagem, para identificar os principais fatores que tem influência sobre um resultado específico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2015:** Sistemas de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6158:1995:** Sistema de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6409:1997:** Tolerâncias geométricas – tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento – generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C. S.; LIRANI, J. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões.** São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- ANTONY, J. ***Design of experiments for engineers and scientists.*** 2. ed. Londres: Elsevier, 2014.
- BORGES, J. E. S. **Aplicação da metodologia Seis Sigma na compatibilidade eletromagnética.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CAMPOS, M. S. Seis Sigma: presente e futuro. *In:* Congresso SAE Brasil. São Paulo, 2002.
- CHAPMAN, S. J. Fundamentos de máquinas elétricas. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2013.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C.; UMANS, S. D. Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2014.
- FEIGENBAUM, A. V. ***Total quality control.*** Nova Iorque: McGraw-Hill, 1961.
- GARVIN, D. A. *Competing in the eight dimensions of quality.* **Harvard Business Review**, Watertown, v. 87, n. 6, p. 101-109, set-out. 1987.
- JURAN, J. M. ***Juran's quality handbook.*** 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.
- KELLER, P. A.; PYZDEK, T. ***Six sigma demystified.*** Nova Iorque: McGraw-Hill, 2005.
- LOBO, R. N. Gestão da qualidade. 2. ed. São Paulo: Érica, 2020.
- MARSHALL JR., I.; *et al.* **Gestão da qualidade e processos.** Rio de Janeiro: FGV, 2012.
- MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à administração.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- MONTGOMERY, D. C. ***Introduction to statistical quality control.*** 6. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2009.

MONTGOMERY, D. C. ***Design and analysis of experiments***. 8. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

MUCIDAS, J. H. **Aplicação do controle estatístico do processo no envase de leite UHT em uma indústria de laticínios**. 2010. Dissertação (Bacharelado em Engenharia da Produção), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

OLIVEIRA, O. J. **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PYZDEK, T.; KELLER, P. A. ***The six sigma handbook***. 3. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2010.

RUTHES, S.; CERETTA, P. S.; SONZA, I. B. Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade. **Revista Gestão Industrial**, v.2, n. 2, p. 173-190, 2006.

SANDERS, D.; ROSS, B.; COLEMAN, J. *The process map*. **Quality Engineering**, v. 11, n. 4, p. 555-561, jul. 1999.

WERKEMA, C. **Criando a cultura lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WERKEMA, C. **Seis Sigma: treinamento para black belt**. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2000.

APÊNDICE A – Resultados do experimento

Tabela 4 - Resultados obtidos no experimento

Lado de içagem do conjunto rotor	Item	Ponto de medição	Y	Varição (µm)	Y Antes (µm)	Y Depois (µm)
Dianteiro	1	A	1	-3	95	92
Dianteiro	1	B	2	8	27	35
Dianteiro	1	C	3	-7	17	10
Dianteiro	2	A	4	-3	77	74
Dianteiro	2	B	5	-6	35	29
Dianteiro	2	C	6	-2	15	13
Dianteiro	3	A	7	1	85	86
Dianteiro	3	B	8	0	20	20
Dianteiro	3	C	9	-4	12	8
Dianteiro	4	A	10	-26	100	74
Dianteiro	4	B	11	-4	36	32
Dianteiro	4	C	12	-12	24	12
Dianteiro	5	A	13	-1	63	62
Dianteiro	5	B	14	-10	32	22
Dianteiro	5	C	15	-10	15	5
Dianteiro	6	A	16	-13	37	24
Dianteiro	6	B	17	-8	19	11
Dianteiro	6	C	18	-3	10	7
Dianteiro	7	A	19	0	85	85
Dianteiro	7	B	20	-15	50	35
Dianteiro	7	C	21	-5	22	17
Dianteiro	8	A	22	5	46	51
Dianteiro	8	B	23	9	25	34
Dianteiro	8	C	24	9	20	29
Dianteiro	9	A	25	-7	87	80
Dianteiro	9	B	26	-15	58	43
Dianteiro	9	C	27	-6	28	22
Dianteiro	10	A	28	-15	68	53
Dianteiro	10	B	29	-9	32	23
Dianteiro	10	C	30	-5	14	9
Dianteiro	11	A	31	-16	62	46
Dianteiro	11	B	32	-9	31	22
Dianteiro	11	C	33	-5	10	5
Dianteiro	12	A	34	-12	60	48
Dianteiro	12	B	35	-18	38	20
Dianteiro	12	C	36	-13	16	3
Dianteiro	13	A	37	16	36	52
Dianteiro	13	B	38	-6	25	19
Dianteiro	13	C	39	-3	11	8
Traseiro	14	A	40	-8	83	75
Traseiro	14	B	41	-9	45	36
Traseiro	14	C	42	-2	15	13
Traseiro	15	A	43	14	38	52

Traseiro	15	B	44	6	22	28
Traseiro	15	C	45	1	14	15
Traseiro	16	A	46	-16	86	70
Traseiro	16	B	47	-7	45	38
Traseiro	16	C	48	-9	28	19
Traseiro	17	A	49	2	36	38
Traseiro	17	B	50	-10	27	17
Traseiro	17	C	51	-10	18	8
Traseiro	18	A	52	-21	32	11
Traseiro	18	B	53	-15	28	13
Traseiro	18	C	54	-9	25	16
Traseiro	19	A	55	-8	68	60
Traseiro	19	B	56	-8	40	32
Traseiro	19	C	57	-14	32	18
Traseiro	20	A	58	0	60	60
Traseiro	20	B	59	0	37	37
Traseiro	20	C	60	-13	33	20
Traseiro	21	A	61	-5	47	42
Traseiro	21	B	62	-12	28	16
Traseiro	21	C	63	-4	19	15
Traseiro	22	A	64	-27	85	58
Traseiro	22	B	65	-2	40	38
Traseiro	22	C	66	-8	24	16
Traseiro	23	A	67	8	48	56
Traseiro	23	B	68	-1	30	29
Traseiro	23	C	69	3	16	19
Traseiro	24	A	70	-19	42	23
Traseiro	24	B	71	-11	19	8
Traseiro	24	C	72	-5	10	5
Traseiro	25	A	73	-25	63	38
Traseiro	25	B	74	-13	28	15
Traseiro	25	C	75	-5	15	10

Fonte: autoria própria (2023)