

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JEAN LUÍS RESNER

ESTUDO SOBRE A QUALIDADE DE UM COMPONENTE ELETRÔNICO EM
UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

Jaraguá do Sul
08 de dezembro de 2022

JEAN LUÍS RESNER

ESTUDO SOBRE A QUALIDADE DE UM COMPONENTE ELETRÔNICO EM
UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Câmpus Jaraguá do Sul - Rau do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Ulbricht.

Jaraguá do Sul
08 de dezembro de 2022

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

Resner, Jean Luís
Estudo sobre a qualidade de um componente eletrônico
em uma linha de produção de motores elétricos / Jean Luís
Resner ; orientação de Gerson Ulbricht. Jaraguá do
Sul, SC, 2022.
33 p.

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

1. Seis Sigma. 2. Qualidade. 3. Redução de defeitos..
I. Ulbricht, Gerson. II. Instituto Federal de Santa
Catarina. . III. Título.

ESTUDO SOBRE A QUALIDADE DE UM COMPONENTE ELETRÔNICO EM
UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

JEAN LUÍS RESNER

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em fabricação mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior em Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 08 de dezembro de 2022.

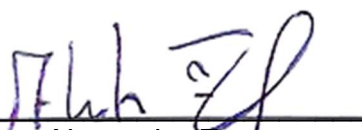
Banca Examinadora



Gerson Ulbricht (orientador)
Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia



Laline Broetto
Doutora em Agronomia



Alexandre Zammar
Mestre em Engenharia de Produção

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por ter me concedido saúde e força para correr atrás dos meus sonhos e pelas pessoas que colocou em minha vida, em especial meus pais João Luiz Resner e Clecir da Rosa Resner, e aos demais familiares.

Aos meus pais, agradeço o carinho, união, proteção e preocupação que sempre demonstraram por mim e a toda nossa família. Vocês são a razão e o motivo dessa vitória.

Também gostaria de fazer um agradecimento especial neste momento à minha esposa Catia, pelo companheirismo, suporte, pelas suas correções e incentivos. Sem você essa monografia não teria sido concluída.

Agradeço ao Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, em especial ao professor Gerson Ulbricht, representando toda a classe de professores, pela oportunidade de fazer o curso e por todo conhecimento acadêmico e pessoal transmitido durante esses anos de graduação.

*"Quando faltam máquinas, você as pode comprar, se não tiver dinheiro, pode pegar emprestado, mas homens você não pode comprar ou pedir emprestado, e homens motivados são a base do êxito."
(Eggon João da Silva)*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivo Geral	10
1.2 Objetivos Específicos	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Metodologia Seis Sigma	11
2.2 Mapa de Raciocínio	15
2.3 Mapa do Processo	16
2.4 Descrição do equipamento: Sensor PT100.....	16
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 Definição da Amostragem.....	20
3.2 Elaboração do mapa de raciocínio aplicado à pesquisa	21
3.3 Elaboração do Mapa de Processo aplicado à pesquisa.....	22
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	24
4.1 Realização do Experimento	24
4.2 Dados Obtidos por Meio do Experimento	26
4.3 Análise dos Dados Obtidos.....	28
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	32
6. BIBLIOGRAFIA	33

RESUMO

Este trabalho aborda sobre a utilização de ferramentas para a busca pela redução da variabilidade em um produto específico. O trabalho foi focado no processo de bobinagem de motores, os quais que estão apresentando uma grande quantidade de defeitos internos, em específico o PT100, que é um tipo de termo resistência que mede a temperatura pela correlação da sua resistência elétrica com a temperatura. Foram realizados testes, com diferentes fatores que são controláveis e com fatores não controláveis que são inerentes ao processo, com o intuito de entender como as modificações controláveis afetam a variável resposta, e conhecer as que mais influenciam no sistema. Sendo assim, por meio dessa pesquisa foi proposta uma alteração no isolamento do sensor PT-100. Resultados mostraram uma melhoria significativa na durabilidade do componente quando comparado a dados anteriores.

Palavras chave: Seis sigma. Melhoria na qualidade. Redução de defeitos.

ABSTRACT

This paper presents the use of tools that aim to reduce variability in a specific product. The work was focused on the winding process of motors that have a large number of internal defects, particularly the PT-100 type, which is a type of resistance thermometer that measures temperature by correlating electrical resistance with temperature. We performed tests with different controllable and non-controllable factors, which are inherent to the process, in order to understand how the controllable modifications affect the response variable, and to know which ones most influence the system. Therefore, this research proposes a change in the insulation of the PT-100 sensor. Results showed a significant improvement in component durability when compared to previous data.

Keywords: Six sigma. Quality improvement. Defect reduction.

1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência das empresas depende muito do crescimento e consolidação dos negócios no mercado, sendo que um dos principais fatores que influenciam nisso é a satisfação do cliente, somada ao preço e serviços praticados.

No entanto, as variações e limitações que o processo de produção possui, acabam contribuindo para o aumento nos defeitos, retrabalhos, desperdícios, aumento no tempo de produção, tendo como resultado o elevado custo de fabricação e conseqüentemente a redução do faturamento e lucro da empresa. Para que isso possa ser resolvido ou pelo menos amenizado, é necessário atuar nos pontos citados, para que se possa aumentar a satisfação dos clientes e conquistar a excelência operacional mantendo-se competitivo no mercado.

Uma metodologia muito utilizada e que vem apresentando bons resultados para as empresas no quesito diminuição ou eliminação de erros, defeitos e falhas no processo é a “Metodologia Seis Sigma”.

A Metodologia Seis Sigma visa também reduzir a variabilidade do processo (Vieira, 2014). Ela pode ser aplicada na maioria dos setores da atividade econômica. Alcançar o Seis Sigma significa reduzir defeitos, erros e falhas a zero e atingir a quase perfeição no desempenho dos processos. A metodologia associa um rigoroso enfoque estatístico a um arsenal de ferramentas que são empregadas com o objetivo de caracterizar as fontes da variabilidade para demonstrar como esse conhecimento pode controlar e aperfeiçoar os resultados do processo (FINAMORE, 2008).

O objetivo deste trabalho de modo geral, é a busca pela redução de falhas em um processo produtivo, através da aplicação da metodologia Seis Sigma, em uma multinacional da região litoral norte de Santa Catarina, especializada na produção de motores elétricos. Como é uma empresa consolidada no mercado, há uma preocupação para que se produzam produtos (neste caso motores) com alta performance e durabilidade, justificando, portanto, a necessidade de serem realizados diversos tipos de testes, desde o desenvolvimento de um novo produto, até produtos que já estejam em fabricação.

O estudo está focado no processo de bobinagem dos motores, que após verificações notou-se estar apresentando grande quantidade de defeitos internos, em específico no sensor PT100, que é um tipo de termo-resistência que mede a temperatura pela correlação da sua resistência elétrica com a temperatura, o qual além de elevar o custo de fabricação do produto devido aos retrabalhos gerados, afeta também a qualidade final do mesmo, elevando assim a possibilidade de o produto apresentar problemas em campo (queima do motor no cliente) diminuindo o ciclo de vida esperado e gerando a insatisfação do cliente e a degradação da marca perante ao mercado.

Sendo assim, são objetivos deste trabalho:

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral a busca pela melhoria de um processo produtivo no sentido de contribuir para a redução de falhas, por meio da aplicação da metodologia Seis Sigma.

1.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar ferramentas voltadas ao controle de qualidade Seis Sigma.
- Verificar quais são os problemas que ocorrem no processo produtivo analisado;
- Estudar maneiras de diminuir ou mesmo eliminar índices de defeitos no processo de fabricação do sensor PT100, com a utilização de ferramentas Seis Sigma.
- Propor possíveis alterações no processo e fabricação buscando contribuir para a redução da produção de itens defeituosos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada uma revisão de literatura que inclui o estudo de trabalhos diversos que explicam a utilização das ferramentas de qualidade que podem ser aplicadas para melhorias no processo produtivo.

2.1 Metodologia Seis Sigma

A intensa competição entre as empresas do mundo todo, aliada a diminuição do crescimento econômico, principalmente no fim do século XX e início do século XXI, levaram a grandes mudanças na área da qualidade e produtividade. Neste cenário, a qualidade de produtos e serviços passou a ser um ponto crucial para a sobrevivência das organizações, onde o foco no cliente e preocupação com garantia de qualidade a menores preços, tornou-se uma necessidade para a sobrevivência e sustentação das empresas (GASPAR, 2015).

Deming um consultor norte americano na área de qualidade, e Ishikawa, engenheiro responsável por fomentar a implementação de ferramentas de qualidade no Japão após a segunda guerra mundial, implantaram ferramentas para gestão de qualidade bastante utilizadas na época e muitas empresas mantêm seu uso até hoje. Estas ferramentas tiveram grande aplicabilidade nas organizações e acabaram por influenciar também as metodologias desenvolvidas posteriormente, onde o foco era na inspeção, e muito teve de evoluir até que se pudesse chegar à garantia da qualidade (SLACK, 2018).

Além de sua abordagem estatística, a metodologia Seis Sigma é uma estratégia empresarial disciplinada, altamente quantitativa e estruturada. Disciplinada, pois exige um tempo mínimo de dedicação em função de um bom resultado. Quantitativa, pois trabalha com estatística baseada em dados.

A origem do padrão Seis Sigma está num trabalho de benchmarking conduzido pela Motorola na década de 80, quando se procurou um crescimento substancial das vendas e um grande aumento da qualidade dos produtos vendidos. Pesquisou-se empresas conhecidas pelos altos padrões de qualidade

e níveis elevados de satisfação do cliente (conhecidas como "best-in-class") e as comparou-se com as empresas médias (FIGUEIREDO, 2006).

Robert W. Galvin, presidente do conselho de administração da Motorola, discorreu sobre a metodologia Seis Sigma, a qual ajudou a criar, explicando sua visão sobre esta, conforme transcrito a seguir (FIGUEIREDO, 2006).

“Muito antes de pensarmos no Seis Sigma, fizemos uma reunião de executivos. Nessa ocasião Art Sundry, diretor da área de rádios bidirecionais, declarou: ‘Nossa qualidade é nojenta’. Tínhamos 85% do market share mundial e estávamos conseguindo um crescimento de dois dígitos. A despeito disso, todos nós diretores levamos Sundry a sério. Rapidamente percebemos que, se conseguíssemos controlar a variação na produção, poderíamos fazer funcionar todas as peças e processos e alcançar um resultado final de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, um nível Seis Sigma. Nosso pessoal cunhou o termo e ele ‘pegou’. Era prático, pois as pessoas entendiam que, quando se consegue controlar a variação, é possível obter resultados notáveis”.

“Nossos clientes não gostavam de nossos produtos. Decidimos agradar-lhes. Aumentamos nossa capacidade de ouvir e levamos os clientes muito a sério. Deixamos nossa arrogância de lado. Nosso pessoal sabia que podia me dizer o que quisesse. Acredito que havíamos criado um clima que permitia às pessoas falar e influenciar a empresa”.

“Seis Sigma, de início, parece complicado, mas é um método que pode ser explicado a qualquer pessoa. Se conseguirmos tornar todas as peças idênticas, seremos capazes de fazer coisas de modo muito melhor. Na linha de produção, temos pessoas para quem tudo funciona, desde que consigam manter seu trabalho dentro da escala de qualidade. Elas dizem: ‘Ora, vejam, consigo entender os dados estatísticos!’ (Figueiredo, 2006, p. 11).

O termo “Seis Sigma”, é utilizado como o nome de um programa de melhorias diversas com objetivo de controlar a produção buscando a redução de itens não conformes, ou seja, defeituosos (VIEIRA, 2014).

Conforme ainda Figueiredo (2006), “um defeito é qualquer coisa que cause a insatisfação do cliente, tal como um produto que não atenda às suas especificações, serviço deficiente ou uma etiqueta com preço muito alto, entre outros”. Sendo assim, quando em uma empresa a variabilidade na fabricação de itens for reduzida (a qual pode ser medida pelo desvio padrão) uma menor quantidade deles terá defeitos e conseqüentemente haverá maior confiabilidade na produção e economia com redução de itens defeituosos.

Na área da estatística, a letra grega sigma (σ) é utilizada para representar o desvio padrão, o qual mede a variabilidade em uma série numérica (VIEIRA, 2014).

Sendo assim, como o programa Seis Sigma está voltado para a redução da variabilidade, este utiliza justamente a nomenclatura estatística referindo-se a essa medida de dispersão em torno da média, que é o desvio padrão (σ) (EINSET e MARZANO, 2002).

O gráfico da Distribuição Normal de Probabilidade teórica permite mostrar a área sob a curva, a qual representa a probabilidade de ocorrência à medida que um valor se afasta do ponto central representado pela média μ . A Figura 1, mostra o gráfico da distribuição Normal de probabilidade teórica (LARSON e FARBER, 2016).

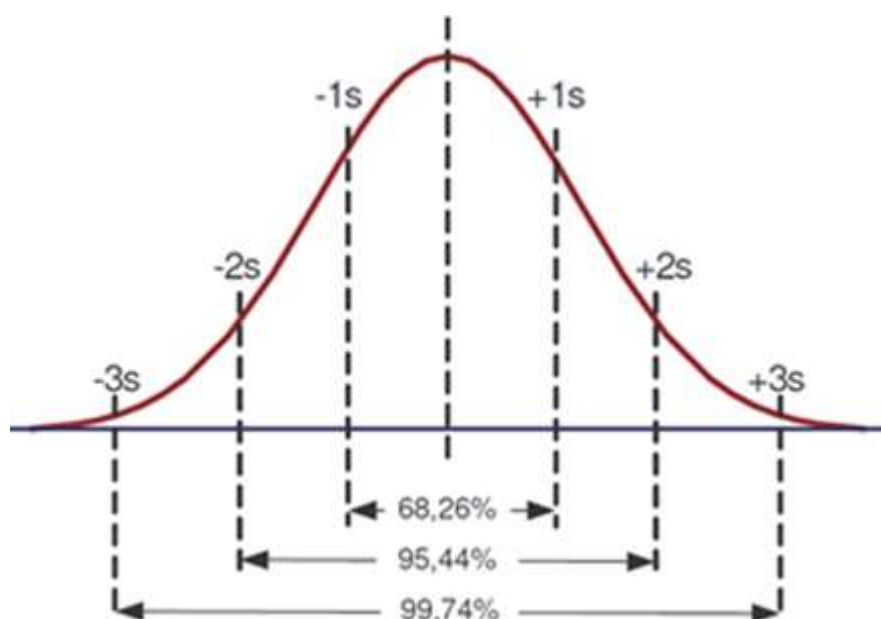


Figura 1: Distribuição Normal de Probabilidade Teórica.
Fonte: <https://images.prismic.io/voitto-blog> - Acesso em 01/11/2022.

Rotondaro *et al.* (2002) afirmam que, “a longo prazo, é difícil manter um processo centralizado, conforme pressupõe a distribuição Normal”. Conforme, Estorilio (2013, p. 3), “um processo pode ser considerado Seis Sigma ao atingir 4,5 desvios padrões entre a média e o limite inferior de especificação e 4,5 desvios padrões entre a média e o limite superior de especificação”. Segundo ainda Estorilio (2013, p. 4), “quando a curva se aproxima do $4,5\sigma$ na esquerda e na direita, os defeitos praticamente se estabilizam e se aproximam a zero, atingindo um alto grau de qualidade”.

O Quadro 1 relaciona o nível Sigma com o índice DPMO (Defeitos por Milhão de Oportunidades), mostrando o impacto nos custos pela baixa qualidade em cada nível.

Quadro 1 - Escala da qualidade

Nível Sigma	Máx. de defeitos por Milhão (DPMO)	Custo da baixa qualidade (% Faturamento)
6 Sigma	3,4	<5
5 Sigma	233	5 a 10
4 Sigma	6210	10 a 15
3 Sigma	66807	15 a 20
2 Sigma	308537	20 a 25
1 Sigma	691462	>25

Fonte: Estorilio (2013 p. 4).

Conforme Vieira (2014), o significado dos valores de escala de qualidade indica que a média das indústrias opera em um nível de qualidade 3 Sigma, e que isso custa entre 15% e 20% de seu faturamento em desperdícios com retrabalho, inspeções, testes e outras perdas.

Desde sua criação, o Seis Sigma seguiu evoluindo constantemente, e ganhando a adesão de cada vez mais empresas (GADAMÉZ, 2002). Por ser uma metodologia completa, pode ser aplicado não só à fábrica, mas também às atividades administrativas onde também há desperdícios e falhas de qualidade, é um dos métodos mais utilizados para uma empresa se manter competitiva no mercado globalizado.

A análise gráfica é muitas vezes suficiente para identificar claramente as variações e aprender mais sobre o sistema. Nesta etapa é importante ter foco e deixar claro quais são os objetivos do experimento, quais as informações já obtidas e qual será a estratégia experimental.

Esta estratégia deve conter:

- As variáveis de resposta (Y);
- Os fatores de estudo com teorias e previsões já formuladas;
- As variáveis de ruído e seus métodos de controle, quando possível;
- Os recursos necessários, como por exemplo, tempo de máquina parada para realização do experimento ou custo com protótipos no caso de uma alteração de produto.

Neste experimento foi utilizado o Sistema de Medição (MSE) para saber se este é confiável, pois as medidas foram em parte subjetivas, pela própria percepção humana.

2.2 Mapa de Raciocínio

Segundo Ramos (2000), o Mapa de Raciocínio é uma documentação contínua do conhecimento já alcançado mostrando as perguntas feitas e os caminhos paralelos que foram ou ainda serão percorridos, bem como as ferramentas utilizadas para se chegar à solução do problema. A falta destes caminhos paralelos leva ao risco de se iniciar a implantação de uma melhoria sem antes se considerarem todas as alternativas disponíveis.

O mapa de raciocínio deve documentar:

- a) O objetivo geral do trabalho;
- b) Conhecimento existente;
- c) Questões a serem respondidas e prioridades;
- d) Atividades a serem realizadas para responder as perguntas;
- e) Respostas para as perguntas efetuadas, novas perguntas e novas respostas;
- f) Ferramentas e metodologias utilizadas para responder as perguntas;
- g) Conhecimento adquirido a partir do trabalho efetuado;
- h) Direção do trabalho futuro.

O mapa de raciocínio também é utilizado para facilitar o entendimento de pessoas que não participaram do projeto, pois com ele é mais fácil de entender como foram coletados os dados, quais as análises realizadas, as interpretações dos resultados encontrados, assim como as conclusões. Além de favorecer que estas pessoas possam contribuir com novos conhecimentos e ideias (MISSIO, 2018).

É importante citar, que este mapa não pode ser transformado no único documento do projeto, sobrecarregando de informações demasiadas como gráficos, análises preliminares ou detalhadas, descaracterizando a sua real utilidade, fazendo com que ele se torne um documento estático elaborado no início do projeto e depois abandonado (MISSIO, 2018).

2.3 Mapa do Processo

Para buscar a melhoria contínua no processo, deve-se ter uma metodologia bem estruturada, com etapas bem definidas.

Um mapa de processo é uma ferramenta utilizada para fins de planejamento, desenvolvimento de experimentos, atividades de gestão, entre outras, com objetivo de fazer uma descrição visual ou gráfica do fluxo do processo estudado, de modo que mostram as etapas de um processo até a obtenção de resultado final (Slack *et al*, 2018).

Segundo Slack *et al* (2018), a criação dos mapas de processo deve incluir de forma geral, algumas etapas. São elas:

- 1) Entender e representar o fluxo do Processo;
- 2) Adicionar as entradas e saídas de cada etapa (o que medir);
- 3) Incluir os parâmetros de processo, os quais ajudam a definir porque a etapa do processo existe e ainda ajudam a monitorar a qualidade das etapas anteriores do processo;
- 4) Desenvolver lista de parâmetros de processo, usualmente uma característica mensurável de um processo que pode afetar o desempenho do produto, tais como temperatura, pressão, velocidade e tempo.

No mapa de processo também são identificados os parâmetros de processo controláveis, bem como os parâmetros de ruído que são variáveis que não se pode ou que se escolhe não controlar. Com este mapa em mãos, o engenheiro poderá planejar experimentos para entender os problemas de qualidade e de projeto de forma geral (Slack *et al*, 2018).

2.4 Descrição do equipamento: Sensor PT100

O equipamento “PT100” é um tipo de sensor muito utilizado em diversos setores da indústria, como por exemplo, alimentícia, farmacêutica, automobilística, metalúrgica, etc.

Em geral, esse tipo de sensor também é recomendado para medição de temperatura e proteção térmica, em motores elétricos (baixa, média e alta tensão), além de bobinas de transformadores e estatores.

Em sua maioria, são fabricados com elemento de platina, pois esta apresenta uma ampla escala de temperatura, alta resistividade permitindo assim maior sensibilidade, um alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura, uma boa linearidade resistência *versus* temperatura e também por ter rigidez e ductilidade para ser transformada em fios finos.

Tal tipo de sensor possui também cabos e isolamento térmica com Kapton (fita poliamida feita de material isolante e que suporta altas temperaturas), garantindo o seu desempenho de rápida resposta térmica. São disponíveis no formato de régua ou palito dimensionado para inserção em estatores.

Seu funcionamento é simples, pois o PT100 é um tipo de termo-resistência com base em sonda de temperatura, contendo um resistor que altera o valor da resistência conforme sua temperatura altera. Para rápidas verificações é utilizado o equipamento de medição chamado multímetro, porém em indústrias maiores, estes sensores podem estar ligados a painéis de controles e monitoramento.

A Figura 2 mostra uma unidade do Sensor PT100.

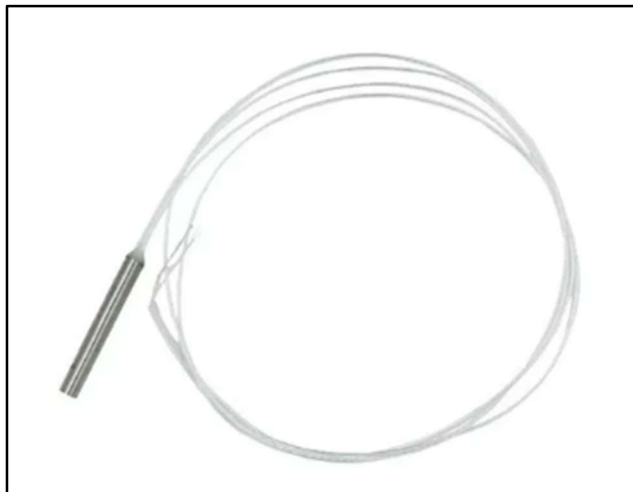


Figura 2: Uma unidade do sensor PT100
Fonte: Manual WEG (2022).

No Quadro 2 é possível verificar as especificações técnicas de temperatura do sensor de temperatura PT100. A primeira coluna (vertical) representa a temperatura discretizada de 10 em 10 graus, ou seja, os valores em dezenas. A primeira linha representa os valores em unidades. Por exemplo,

o primeiro valor destacado no corpo do quadro (109,73), corresponde à temperatura de 25 graus Celsius.

Quadro 2 - Especificações técnicas de temperatura do sensor PT100

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	103,12	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,23	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86

Fonte: Manual WEG (2022).

Na realização do processo de bobinagem, o sensor PT100 é colocado acomodado nas bobinas do motor, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Acomodação do PT100 nas bobinas do motor
Fonte: O autor (2022)

Neste caso em específico, foram colocados três sensores, um por fase, para que seja possível monitorar a temperatura interna do motor em cada fase.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa.

Este trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, buscando identificar falhas e sucessos em testes de um componente mecânico. Considerando que o pesquisador trabalha diretamente com o desenvolvimento do item sujeito à testagem considera-se também a pesquisa como aplicada. Desta forma, a pesquisa teve por objetivo avaliar o método de inspeção de resistência do PT100 e estudar uma maneira de deixá-lo mais robusto.

Para a realização deste experimento, foi realizado o planejamento de quais testes seriam aplicados e de que forma isso seria feito, pois é de grande importância que haja o entendimento do problema por todas as pessoas envolvidas durante os experimentos, e ainda, que tudo seja cuidadosamente monitorado, para garantir que aconteça de acordo com o planejado, pois erros no procedimento experimental muito provavelmente irão invalidar os resultados.

A pesquisa experimental é um processo iterativo, de modo que as informações reunidas da primeira rodada de testes são utilizadas como dados de entrada da segunda rodada como dados de análise do experimento. Por isso, cuidados devem ser tomados para não esgotar todos os recursos na primeira rodada do experimento.

Na Figura 4, são apresentadas as etapas que foram utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

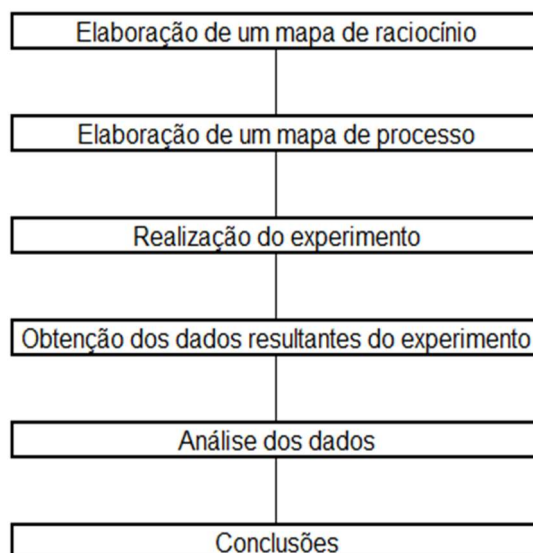


Figura 4: Etapas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa
Fonte: O autor (2022)

Uma vez que se documenta todo o conhecimento, as teorias e perguntas a respeito do processo ou produto a ser melhorado, é necessário buscar respostas por meio de experimentos estruturados que forneçam dados confiáveis e mensuráveis. A experimentação consiste na manipulação das variáveis independentes de modo a se analisar o efeito causado na variável dependente.

3.1 Definição da Amostragem

Para a realização do MSE, foi primeiramente elaborada a árvore de amostragem, onde foi decidido variar os parâmetros Modelo do PT100, instrumento de medição (multímetro) e operador, julgando serem os mais relevantes para o processo.

O experimento foi realizado tomando-se 36 medições do modelo antigo e 36 medições do modelo novo. Sendo assim, os testes foram feitos variando as seguintes combinações: Modelo de PT100, Instrumento utilizado, o operador que irá fazer as medições e quantidade de medições por aparelho (instrumento) e operador, conforme mostrado na Figura 5.

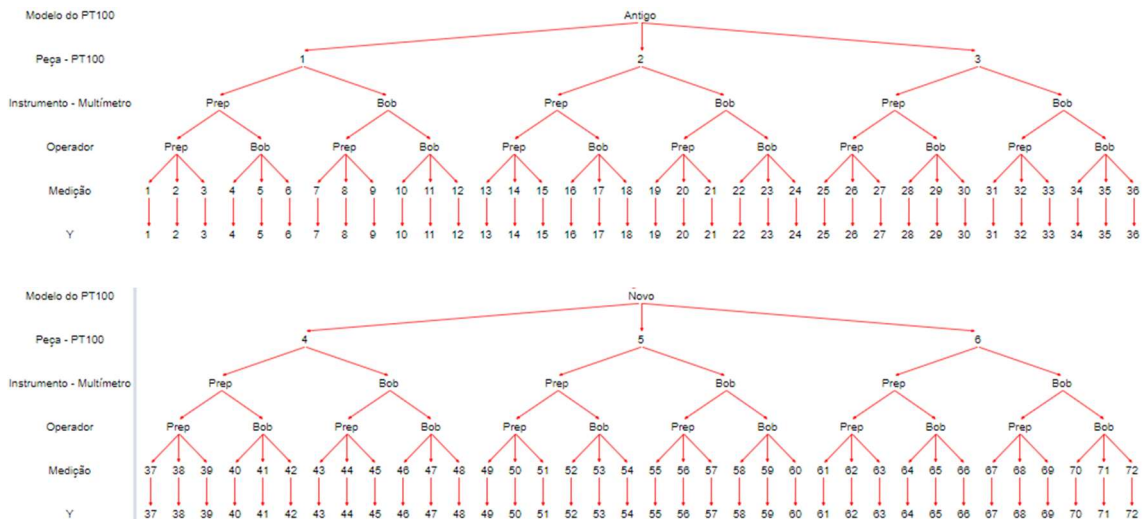


Figura 5: Mapa para realização do experimento
 Fonte: O autor (2022)

3.2 Elaboração do mapa de raciocínio aplicado à pesquisa

De forma a organizar o início do trabalho, foi desenvolvido um mapa de raciocínio, buscando identificar possíveis causas de variabilidade e falhas no processo, o qual é apresentado na Figura 6.

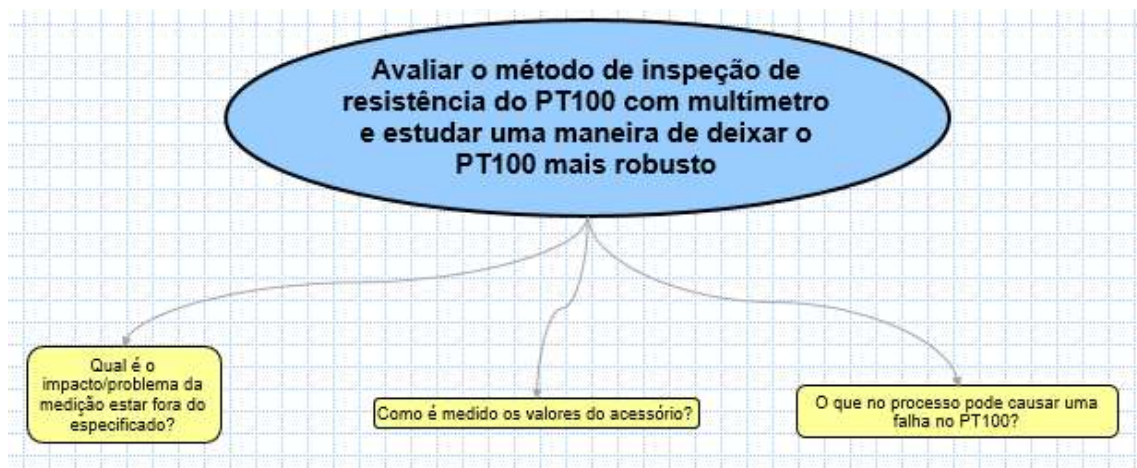


Figura 6: Mapa de Raciocínio
 Fonte: O autor (2022)

Com este mapa, conseguiu-se primeiramente avaliar qual o impacto da medição realizada pelo operador estar em desacordo com o especificado, ou seja, o que isso poderia causar de problema. Depois avaliar como estão sendo realizadas as medições do acessório, se elas são confiáveis e quais os parâmetros, e por último, o que no processo poderia estar causando algum tipo

de falha no acessório, para que o mesmo apresentasse erros na medição ou não funcionasse.

3.3 Elaboração do Mapa de Processo aplicado à pesquisa

O Mapa de Processo mostra visualmente o que se conhece do processo a ser melhorado. Sua confecção pode ser subsidiada por Fluxogramas de Processo e Diagramas de Causa e Efeito para se compreender a interação entre as variáveis do processo (X) e as características do produto final (Y).

A Figura 7 mostra o Mapa de Processo, o qual é utilizado para detalhar as etapas do processo de produção.

A classificação das variáveis também desempenha um papel de grande importância. A partir dela é possível concentrar esforços em variáveis relevantes e não desperdiçar recursos em questões desnecessárias. Variáveis que são gerenciadas são denominadas controláveis (C). Já aquelas que não são monitoradas devido a alguma restrição recebem o nome de ruído (N). Há também as Operações Padrão (SO), onde a variação é controlada para evitar variações inaceitáveis em Y . É necessário também evidenciar quais são as variáveis críticas no sistema.

Após definida a metodologia do trabalho, a pesquisa passou para a fase experimental, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4..

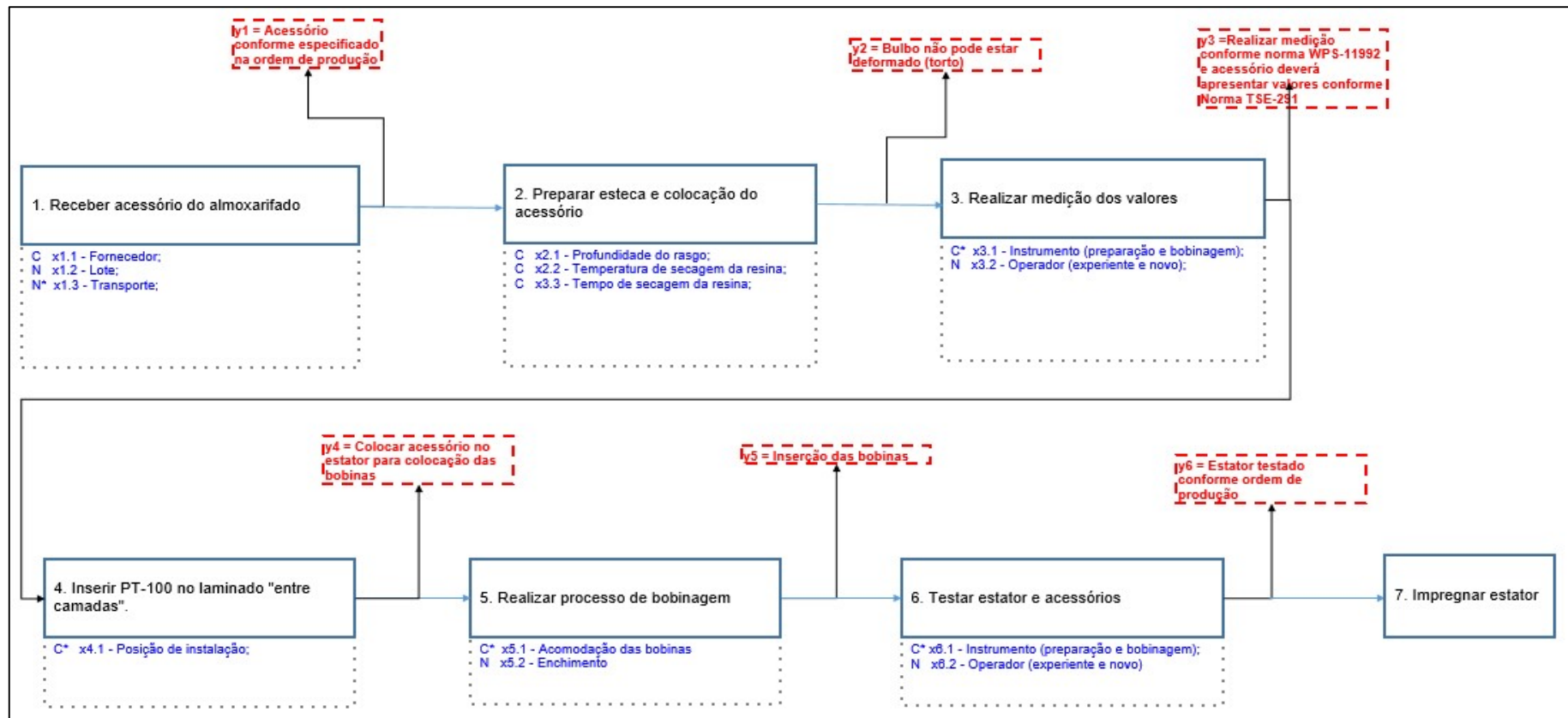


Figura 7: Mapa de Processo
 Fonte: O autor (2022)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A parte prática para análise de experimentos é baseada no roteiro apresentado no Capítulo 3. Conforme Galdámez (2002, p.29), “esse plano experimental ajuda a desenvolver e conduzir efetivamente as atividades já definidas e, principalmente, permite maximizar as respostas das questões formuladas pela equipe de trabalho”.

4.1 Realização do Experimento

Após definida a amostragem, foi realizado um teste de tensão aplicada (HIPOT AC) que consiste em aplicar uma alta tensão por um tempo especificado, cuja finalidade é determinar se a capacidade do material isolante é suficiente para garantir a isolação sob condições normais de operação.

O valor de tensão utilizado foi em torno de 4800 V aplicado durante o período de 1 minuto, conforme mostrado na Figura 8.



Figura 8: Amostra de tensão aplicada.
Fonte: O autor (2022)

O sensor foi "aterrado" em uma certa quantidade de granalha, simulando sua aplicação no motor, conforme Figura 9.

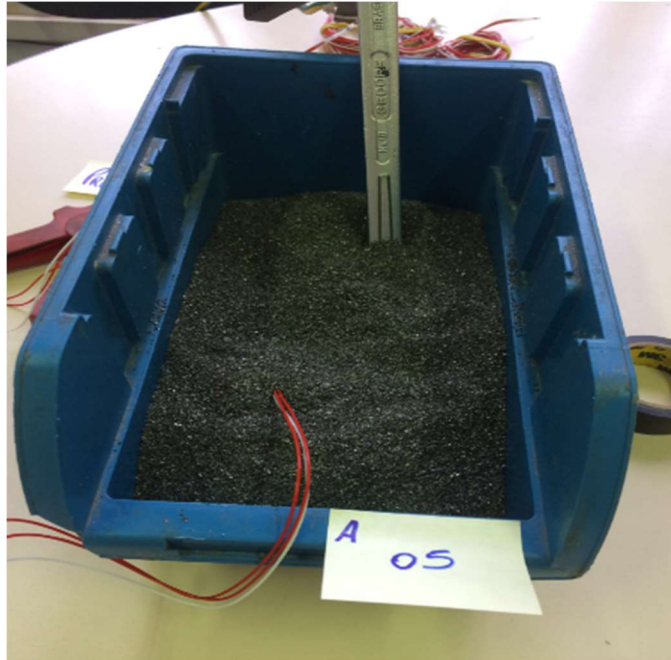


Figura 9: Aterramento em granalha.
Fonte: O autor (2022)

Na Figura 10 é mostrada a bancada de testes utilizada.



Figura 10: Bancada de testes.
Fonte: O autor (2022)

4.2 Dados Obtidos por Meio do Experimento

As medidas obtidas na realização do experimento conduzido pelos parâmetros descritos na árvore de amostragem são mostradas no Quadro 2.

A primeira coluna se refere ao modelo do sensor PT-100, onde o “antigo” é o sensor que era utilizado nos motores e o “novo” é o modelo de isolamento proposto, o qual já foi implementado na empresa. Os termos “Prep” e “Bob” se referem aos setores de preparação e bobinagem e o valor Y foi a saída obtida.

Quadro 2: Medições obtidas na realização do experimento

Modelo do PT100	Peça - PT100	Instrumento - Multímetro	Operador	Medição	Y
Antigo	1	Prep	Prep	1	111,3
Antigo	1	Prep	Prep	2	110,9
Antigo	1	Prep	Prep	3	111,1
Antigo	1	Prep	Bob	4	110,9
Antigo	1	Prep	Bob	5	111,3
Antigo	1	Prep	Bob	6	111,3
Antigo	1	Bob	Prep	7	111,6
Antigo	1	Bob	Prep	8	110,5
Antigo	1	Bob	Prep	9	111,5
Antigo	1	Bob	Bob	10	110,6
Antigo	1	Bob	Bob	11	110,7
Antigo	1	Bob	Bob	12	110,7
Antigo	2	Prep	Prep	13	111
Antigo	2	Prep	Prep	14	111
Antigo	2	Prep	Prep	15	110,3
Antigo	2	Prep	Bob	16	110,7
Antigo	2	Prep	Bob	17	109,8
Antigo	2	Prep	Bob	18	110
Antigo	2	Bob	Prep	19	110,5
Antigo	2	Bob	Prep	20	112
Antigo	2	Bob	Prep	21	110,6
Antigo	2	Bob	Bob	22	110,9
Antigo	2	Bob	Bob	23	110,5
Antigo	2	Bob	Bob	24	110,5
Antigo	3	Prep	Prep	25	109,8
Antigo	3	Prep	Prep	26	110,3
Antigo	3	Prep	Prep	27	111,1
Antigo	3	Prep	Bob	28	110,3
Antigo	3	Prep	Bob	29	109,9
Antigo	3	Prep	Bob	30	110,2

Modelo do PT100	Peça - PT100	Instrumento - Multímetro	Operador	Medição	Y
Antigo	3	Bob	Prep	31	110,7
Antigo	3	Bob	Prep	32	110,9
Antigo	3	Bob	Prep	33	110,5
Antigo	3	Bob	Bob	34	111,1
Antigo	3	Bob	Bob	35	110,5
Antigo	3	Bob	Bob	36	110,5
Novo	4	Prep	Prep	37	112
Novo	4	Prep	Prep	38	111,6
Novo	4	Prep	Prep	39	111,4
Novo	4	Prep	Bob	40	112,4
Novo	4	Prep	Bob	41	111,6
Novo	4	Prep	Bob	42	111,3
Novo	4	Bob	Prep	43	111,3
Novo	4	Bob	Prep	44	110,9
Novo	4	Bob	Prep	45	111
Novo	4	Bob	Bob	46	111,8
Novo	4	Bob	Bob	47	111,3
Novo	4	Bob	Bob	48	110,7
Novo	5	Prep	Prep	49	110,9
Novo	5	Prep	Prep	50	111,2
Novo	5	Prep	Prep	51	110,4
Novo	5	Prep	Bob	52	111,7
Novo	5	Prep	Bob	53	111,1
Novo	5	Prep	Bob	54	110,9
Novo	5	Bob	Prep	55	111,1
Novo	5	Bob	Prep	56	112,5
Novo	5	Bob	Prep	57	110,8
Novo	5	Bob	Bob	58	110,9
Novo	5	Bob	Bob	59	110,7
Novo	5	Bob	Bob	60	111,4
Novo	6	Prep	Prep	61	110,9
Novo	6	Prep	Prep	62	110,7
Novo	6	Prep	Prep	63	111,1
Novo	6	Prep	Bob	64	110,5
Novo	6	Prep	Bob	65	110,6
Novo	6	Prep	Bob	66	111
Novo	6	Bob	Prep	67	110,6
Novo	6	Bob	Prep	68	111,1
Novo	6	Bob	Prep	69	110,4
Novo	6	Bob	Bob	70	110,9
Novo	6	Bob	Bob	71	111,3
Novo	6	Bob	Bob	72	110,5

Fonte: O autor (2022)

4.3 Análise dos Dados

Na realização do experimento, foi possível perceber que todas as amostras do modelo atual entraram em curto-circuito, sendo 3 delas abaixo do limite inferior de especificação (1500V) e 3 delas acima do limite, mas todas abaixo de 2000V.

Com o sistema proposto nenhuma delas rompeu (curto) e atingiram a máxima tensão disponibilizada pelo equipamento (4800V). Isso mostra que o modelo proposto é muito mais robusto que o modelo atual.

A Figura 11 mostra exemplares do modelo proposto e do modelo atual do sensor PT100.

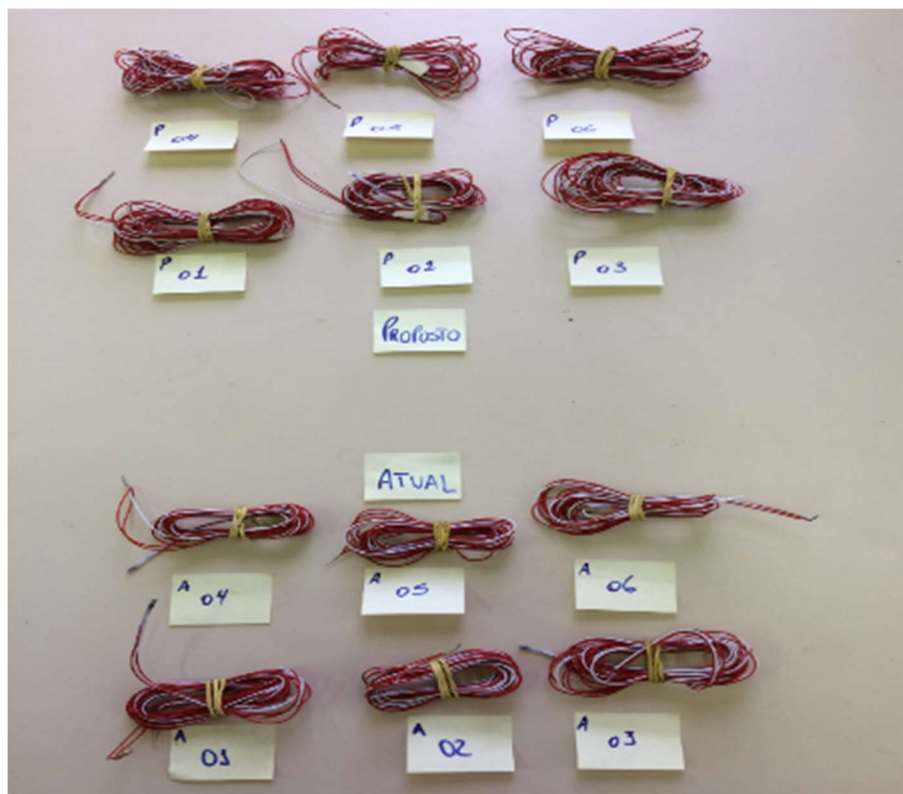


Figura 11: Modelo proposto e modelo atual do sensor PT100.
Fonte: O autor (2022)

Na Figura 12 estão representadas as causas especiais do processo, sendo que o que se refere a estabilidade demonstra que o sistema de medição apresenta bastante variação, porém nenhuma causa especial, já referente a

discriminação, o sistema apresenta discriminação, que é observada devido a diferença entre as medições realizadas.

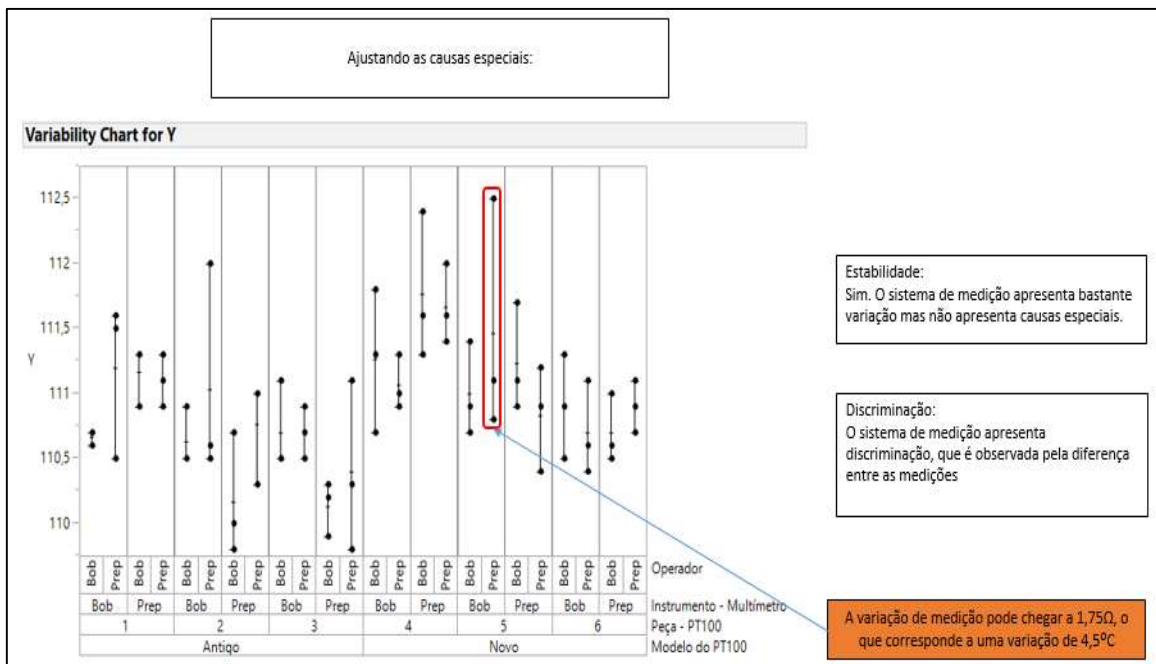


Figura 12: Causas especiais do processo.
Fonte: O autor (2022)

A Figura 13, mostra a análise da repetibilidade e da reprodutibilidade.

A Repetibilidade é o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, realizadas sob as mesmas condições de medição e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo.

Já a reprodutibilidade é o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando, realizadas sob condições variadas de medição.

Observando ainda a Figura 13, nota-se que o sistema de medição não apresentou repetibilidade, sendo mais de 60% da variação acontece devido à repetição de medição.

Já a reprodutibilidade tanto do operador quanto do instrumento apresentou pequena variação (5 e 7% respectivamente) o que não afeta nos resultados do experimento.

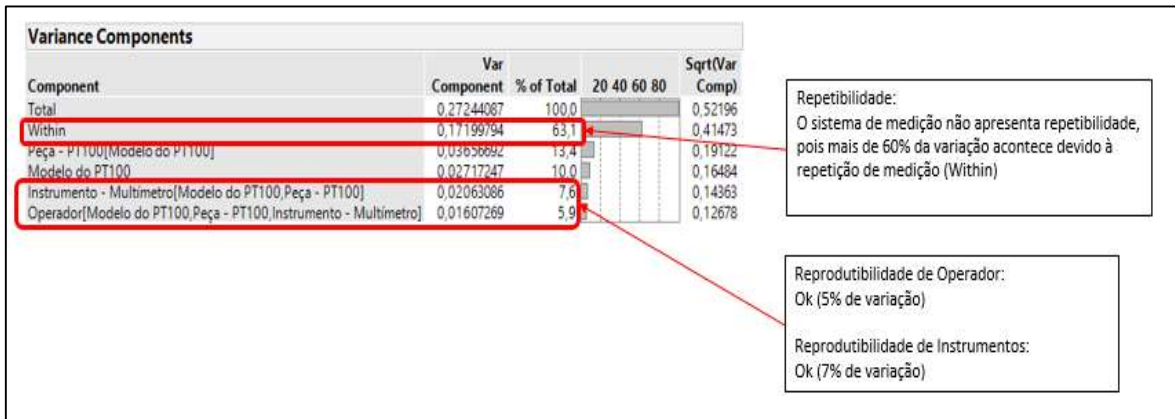


Figura 13: Causas especiais do processo.
Fonte: O autor (2022)

Nota-se assim, com esse estudo, que a fragilidade excessiva do material deixa vulnerável para a ruptura dos filamentos do bulbo do sensor PT100. Visto isso, sugere-se colocar um tubo isolante em cada um dos filamentos do acessório, conforme mostra a Figura 14, o que possibilita o aumento da resistência mecânica e consequentemente elétrica garantindo maior robustez no processo em relação ao sensor atual.

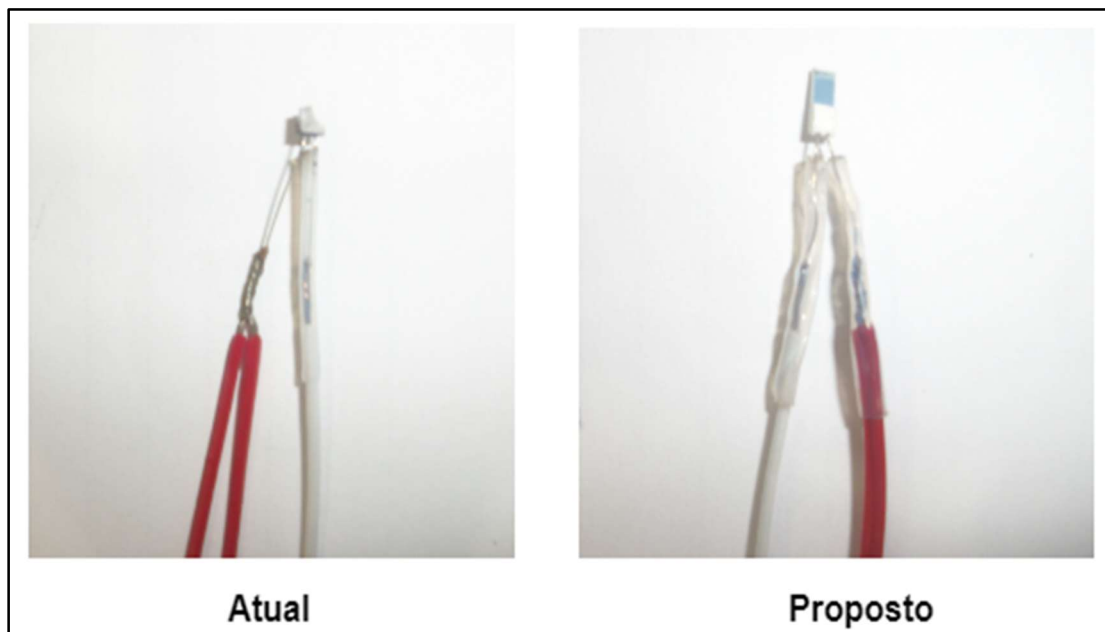


Figura 14: Detalhe da colocação do tubo isolante: atual x proposto.
Fonte: O autor (2022)

Recomenda-se a alteração do sensor junto ao fornecedor, a qual se mostra viável e deve ser mantida no processo de produção do motor.

No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões e considerações finais referentes ao experimento.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para que as empresas se tornem ainda mais competitivas, a redução de custos no beneficiamento de seus produtos é algo indispensável, principalmente relacionados a custos com a não qualidade no seu processo produtivo.

Pensando nessa ideia, esse trabalho foi desenvolvido no sentido de propor uma solução para os defeitos encontrados nos sensores PT100, visando a redução de custo e o aumento na qualidade final dos produtos.

A metodologia aplicada Seis Sigma, foi fundamental para identificar os principais fatores que influenciam na ocorrência dos defeitos e capacitou a tomar decisões baseadas no raciocínio crítico do problema, permitindo identificar as principais causas de variabilidade.

O sistema de medição (MSE) foi uma importante ferramenta para verificar a confiabilidade das medições realizadas, identificando a repetibilidade e reprodutibilidade do processo. Pode-se afirmar que o sistema de medição com multímetro foi confiável para identificar se o acessório apresenta conformidade, entretanto, este mostra variações de medição que comprometem a medição exata do valor de resistência do PT 100.

Como próximos passos, sugere-se um estudo mais aprofundado com relação ao tipo de sensor utilizado e forma de medir, eliminando as possíveis variações que os instrumentos e os operadores propiciam no processo.

6. BIBLIOGRAFIA

EINSET, E.; MARZANO, J. **Six Sigma Demystified**. Tooling & Production, v.13, 2002.

ESTORILIO, C. C. A. Amitrano, F. G. **Aplicação de Seis Sigma em uma empresa de pequeno porte**. Produto & Produção, vol. 14 n.2, p. 01-25, jun. 2013.

FIGUEIREDO, T. G. **Metodologia Seis Sigma como Estratégia para Redução de Custos: Estudo de Caso sobre a Redução de Consumo de Óleo Sintético na Operação de Usinagem**. Monografia. Juiz de Fora MG, 2006.

FINAMORE JR, W. A. **Aplicação do Modelo Six Sigma na Administração de Operações**. Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF. Juiz de Fora, 2008.

GADÁMEZ, E. V. C. **Aplicação de Técnicas e Análise de Experimentos na Melhoria de Qualidade do Processo de Fabricação de Produtos Plásticos**. Tese de Doutorado. USP - São Carlos, 2002.

GASPAR, R.C. **A trajetória da economia mundial: da recuperação do pós-guerra aos desafios contemporâneos**. Cadernos Metr pole 17 (33): São Paulo, 2015.

LARSON, Ron; FARBER, Betsy. **Estatística aplicada**. Tradução de José Fernando Pereira Gonçalves. Revisão de Manoel Henrique Salgado. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

MISSIO, R. F. **Determinação da máxima rotação de trabalho da chave centrífuga da WEG**. Jaraguá do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/253>. Acesso em 15/10/2022.

RAMOS, Alberto Wunderler. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

SLACK, Nigel; JOHNSTON, Robert; BRANDON-JONES, Alistair. **Administra o da produ o**. Tradução de Daniel Vieira. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

ROTONDARO, R. G. (Coord.). **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

VIEIRA, Sonia. **Estatística para a qualidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2014.