

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

JEAN FELIPE RODRIGUES POZZER

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CONTROLE DA RUGOSIDADE
SUPERFICIAL DO ASSENTO DO ROLAMENTO UTILIZANDO A FERRAMENTA DA
QUALIDADE SEIS SIGMA

JARAGUÁ DO SUL

FEVEREIRO DE 2022

JEAN FELIPE RODRIGUES POZZER

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CONTROLE DA RUGOSIDADE
SUPERFICIAL DO ASSENTO DO ROLAMENTO UTILIZANDO A FERRAMENTA DA
QUALIDADE SEIS SIGMA

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

Orientador: Prof. Dr. William Jose Borges

JARAGUÁ DO SUL

FEVEREIRO DE 2022

Pozzer, Jean Felipe Rodrigues

P893e ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CONTROLE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO ASSENTO DO ROLAMENTO UTILIZANDO A FERRAMENTA DA QUALIDADE SEIS SIGMA.

/ Jean F. Rodrigues Pozzer;

Prof. Doutor William José Borges (Orientador). – Jaraguá do Sul, SC: IFSC, 2022. 32 p.: il.; PDF.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Jaraguá do Sul - Rau, Curso Tecnologia em Fabricação Mecânica.

1. Seis Sigma. 2. Rugosidades Superficiais. 3. Motor elétrico.
I. Título. II. Borges, William José.

CDD – 658.562

JEAN FELIPE RODRIGUES POZZER

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DO MÉTODO DE CONTROLE DA RUGOSIDADE
SUPERFICIAL DO ASSENTO DO ROLAMENTO UTILIZANDO A FERRAMENTA
DA QUALIDADE SEIS SIGMA.

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

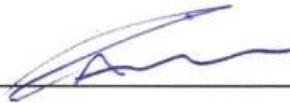
Jaraguá do Sul, 10 de fevereiro de
2022



Prof. William José Borges, Doutor.

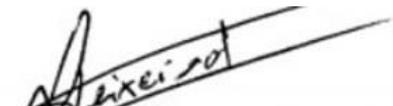
Orientador

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Cassiano Rodrigues Moura, Me.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau



Prof. Edson S. M. Teixeira, Dr.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - Rau

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois ele me iluminou e me deu forças para esta jornada até aqui, e continuará me guiando pelo melhor caminho, abrindo portas para que possamos aproveitar as oportunidades. Em segundo agradeço ao meu professor orientador Dr. William José Borges primeiramente pela paciência e insistência ao presente trabalho, sempre orientando da melhor maneira possível e incentivando nos momentos de desânimos.

Também preciso agradecer a minha família pelo apoio integral a realização deste curso como um todo, em especial a minha mãe e namorada, que não me deixavam desanimar e cobravam quando necessário, contribuindo muito com a conclusão do trabalho e com minha formação acadêmica e pessoal.

A instituição IFSC – Jaraguá do Sul, campus Rau, que sempre me deu o suporte necessário quando solicitado, e dispondo de uma boa estrutura tanto física como de docentes capacitados.

Aos meus colegas que fizeram parte do grupo de estudo do presente trabalho, Sávio Souza Santos, Renan Marshall e Rogerson da Silva Oliveira. Que ao realizar os testes e análises necessárias sempre auxiliaram de forma espontânea e não pouparam esforços para a finalização do estudo.

RESUMO

Este estudo teve como propósito corrigir algumas lacunas ainda existentes no processo de aferição da rugosidade do assento do rolamento em tampas para motores elétricos, utilizando uma das mais assertivas ferramentas utilizadas atualmente, que é o Seis Sigma. A pesquisa voltou-se para a análise de quanto robusta é a medição do componente, e de verificação da frequência de inspeção do mesmo, e também de quais os fatores que poderiam influenciar para a sua variação. Para isto utilizou-se ferramentas atreladas ao Seis Sigma, buscando realizar um mapa de processo coerente, uma matriz de decisão que leva em conta os principais fatores de variação e posteriormente uma árvore de processos robusta para que se possa ter análises corretas.

Com o estudo garantiu-se que os componentes estavam chegando para seu cliente final com a devida qualidade designada no projeto inicial, e eliminou-se a penumbra que se tinha em relação ao método que esta aferição era realizado, melhorando a assertividade das medições e tornando o processo mais confiável para os clientes e auditores externos.

Palavras-chave: Seis Sigma; Rugosidade superficial; Assento do rolamento; Motor elétrico.

ABSTRACT

This study aimed to correct some gaps that still exist in the process of measuring the roughness of the bearing seat in covers for electric motors, using one of the most assertive tools currently used, which is the Six Sigma. The research turned to the analysis of how robust a measure of the component is, and to verifying the frequency of occurrence of the same, and also what factors the factors cause due to the variation. For this, use the tools linked to Six Sigma, seeking to create a coherent process map, a decision matrix that takes into account the main variation factors and later a robust process tree so that the correct analysis can be seen.

With the study, it was ensured that the components were arriving to the end customer with the proper quality designated in the initial project, and a shadow that had been observed in relation to the method that this measurement was carried out was eliminated, improving the assertiveness of the necessary ones and leaving the most reliable process for customers and external auditors.

Keywords: Six Sigma; Surface roughness; Bearing seat; Electric motor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre quatro sigma e seis sigma	15
Figura 2 - Fórmula Pp e Ppk.....	18
Figura 3 - Tipo de tornos.....	19
Figura 4 - Mandriladora.....	20
Figura 5 - Rugosímetros	20
Figura 6 - Incerteza Mitutoyo	21
Figura 7 - Incerteza Marh.....	21
Figura 8 - Motor explodido e tampa	21
Figura 9 - Mapa de processo	24
Figura 10 - Mandriladora.....	25
Figura 11 - Matriz de decisão.....	25
Figura 12 - Estratégia de amostragem 1.....	26
Figura 13 - Gráfico de variação 1	29
Figura 14 - Gráfico de variação 2	30
Figura 15 – Estratégia de amostragem 2.....	32
Figura 16 – Estabilidade	33
Figura 17 - Estabilidade 2	34
Figura 18 - Discriminação	34
Figura 19 - Reprodutibilidade.....	35
Figura 20 - Repetibilidade.....	36
Figura 21 - Equação Pp e Ppk.....	37
Figura 22 - Pp e Ppk.....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo geral	10
1.1.2 Objetivo específico	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Administração da Produção.....	12
2.2 Gestão da Qualidade	13
2.3 Seis Sigma	14
2.3.1 Índices de performance do processo Pp e Ppk	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4 METODOLOGIA.....	22
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
5 CONCLUSÃO.....	40

1 INTRODUÇÃO

O processo competitivo global tem induzido um comportamento das empresas no que se refere as adaptações e atualizações dos processos produtivos. No Brasil, a administração da produção (SLACK, et al. 2009) contribui com o fortalecimento e preparo de atualizações no âmbito da produção na medida em que as empresas demandam correções. Dessa forma, muitas ferramentas são disponibilizadas e aperfeiçoadas pelas organizações. Para esse trabalho, optou-se pelo estudo e implantação de ferramentas de qualidade para a definição do processo e frequência de medição.

Obviamente, muitos itens são mensurados e acompanhados durante o processo produtivo. Isso acontece com o intuito de adaptar o produto ao uso do cliente (PALADINI, 2010) e, nesse caso, a abordagem se volta para a rugosidade de um componente específico do motor elétrico da WEG S.A.

A rugosidade superficial da peça é tratada com uma característica técnica extremamente necessária para um bom funcionamento do motor elétrico, tendo em vista que ela proporciona um correto deslizamento de suas partes girantes, mantendo uma boa lubrificação e vedação contra agentes externos. Isso garante que os componentes tenham qualidade ao seguirem na linha de produção.

Dessa forma, quando se aproxima a administração da produção com a usinagem da tampa de fixação do motor, objeto de análise do presente estudo, percebe-se que existe um interesse em garantir a função da peça proposta no projeto de engenharia. Itens como a vedação dos componentes internos para com o exterior, e também os esforços radiais dispostos no eixo, se tornam relevantes no processo produtivo e de acompanhamento da qualidade.

Este objeto de análise necessita de uma usinagem precisa do local onde irá ser acondicionado o rolamento, com um alto grau de acabamento, dimensões controladas e rugosidade superficial baixa, de acordo com as especificações solicitadas pelo fabricante do rolamento.

Este processo, estudado na empresa WEG S.A, está localizado em um centro de trabalho destinado à implantação de um método eficaz de controle da rugosidade superficial, através de ferramentas da qualidade. A máquina utilizada no estudo é uma mandriladora cilíndrica de fabricação própria da empresa, e servirá de base para a coleta de dados primários.

O desenho das próprias máquinas e peças pode ser visto como um reflexo de entender que os produtos e processos podem melhorar (TUBINO, 2015). Nesse caso, especificamente, o controle dimensional e superficial é feito periodicamente pelo controle de qualidade da fábrica, porém, sem a existência de alguma especificação ou validação tanto do método, como da sua frequência. Portanto, o processo carece de novos estudos e métodos de medições fabris.

Os novos estudos possuem o potencial de se compreender qual o melhor método e frequência de controle? Como a falta de procedimento poderiam influenciar o seu correto funcionamento? Isso poderia ocasionar problemas de campo para o cliente final? Isso poderia gerar não conformidades em auditorias, desperdícios de materiais e perda de tempo com mão de obra e maquinário para realizar retrabalhos?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um método de controle e medição da rugosidade superficial para o processo de mandrilamento do assento do rolamento em tampas de ferro fundido cinzento FC200.

1.1.2 Objetivo específico

a) analisar os dados primários por meio da ferramenta da qualidade Seis Sigma para validar a regularidade do processo de mandrilamento.

b) analisar a rugosidade do processo de mandrilamento, levando-se em consideração as fontes de variação das amostras.

c) apresentar um método e frequência e controle de medição da rugosidade, por meio da ferramenta Seis Sigma e Ppk.

Faz-se importante no meio tecnológico, com o avanço eminente e constante da industrial 4.0 e seus pilares, o estudo e aplicação cada vez mais abrangente de ferramentas de qualidade específicas para avaliar e identificar os processos com possíveis falhas ou passíveis de melhorias, tanto na sua aplicação, como também na qualidade do produto final e produtividade nos processos industriais.

As ferramentas da administração e da gestão da qualidade se unem com um objetivo em comum, obter um processo cada vez mais robusto e lucrativo, diminuindo seus custos e visando aperfeiçoar tanto o contexto operacional, quanto o de clima do espaço fabril e meio ambiente envolvido, que por sua vez, impactam, quando realizados de forma correta, diretamente em todas as áreas fabris de forma positiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Administração da Produção

Toda empresa tem como objetivo principal e fundamental produzir algo ou prestar algum serviço que atenda a necessidade do mercado, do consumidor ou da sociedade. A gestão da produção é a base de toda atividade produtiva, e tem como objetivo, dar condições para as empresas obterem retorno, contribuindo para o crescimento sustentável e garantindo a evolução constante dos processos (CHIAVENATO, 2014). "O mundo contemporâneo requer uma contínua, intensa e incessante produção de bens e de serviços para que as pessoas possam se alimentar, vestir-se, repousar-se, educar-se, movimentar-se, enfim, viver" (CHIAVENATO, 2014, p.1).

A flexibilidade e a administração do processo são fundamentais para haver maior competitividade nas empresas, permitindo adaptar-se mais facilmente as mudanças. Para isto acontecer, é importante que os trabalhadores tenham condições e capacidade para adaptar-se ao cenário atual, que sofre uma constante atualização, tanto nos produtos, quanto nos métodos de realização da produção (FRIEDRICH, et al. 1998).

Independentemente da área de atuação ou do seu segmento, as empresas devem priorizar velocidade, eficiência e valor do produto para seus clientes finais, só assim, poderão se tornar realmente competitivas no âmbito global (CUDNEY; ELROD, 2011). A disputa por espaço de mercado no ambiente industrial vem crescendo exponencialmente nos últimos anos e, conseqüentemente, a procura por novas ferramentas para obter-se um desempenho cada vez mais satisfatório nos processos, tem se tornado uma das grandes preocupações das empresas que procuram se consolidar no mercado globalizado (FERNANDES; TURRIONI, 2007). Para haver uma redução de custos, tem-se como regra básica, aumentar a velocidade produtiva e reduzir os defeitos gerados (HARRY; SCHROEDER, 2000).

Vale salientar que essa busca por velocidade e competitividade está vinculada aos preceitos da gestão da qualidade. Os princípios seguidos pelas empresas, considera que os produtos e serviços serão adaptados às reais necessidades dos clientes finais.

2.2 Gestão da Qualidade

A existência das indústrias no mundo corporativo, bem como o movimento competitivo que convivem, induzem um comportamento voltado para a eficiência do seu sistema produtivo. Isso porque, as empresas possuem recursos finitos e se faz necessário a constante busca por aperfeiçoamento de toda a cadeia envolvida no sistema de produção, elevando assim os resultados e tornando-as mais competitivas. Novas abordagens buscam, na academia (DI GREGÓRIO, 2013), desenvolver a capacidade de identificar valores e aplicar em seus produtos.

A ausência de defeitos nos produtos, item relevante para a gestão da qualidade, faz com que as empresas obtenham uma redução nos indicadores de erros, retrabalhos e desperdícios que, conseqüentemente, também reduzem os custos com futuras garantias provenientes de falhas (JURAN, 2009).

Existem estratégias e formas de otimizar a competitividade no meio empresarial, dentre elas, uma que se destaca é a de diferenciação, onde concentram-se esforços para visualizar a atender algumas características dos produtos que são altamente relevantes pelos clientes, sem desconsiderar os custos produtivos e de venda. Nesta estratégia, deve-se investir diretamente em uma qualidade superior do produto final, e também em fortalecimento do patrimônio, prazos de entregas superiores aos concorrentes e uma variedade diferenciada de produtos (TUBINO, 2015).

Dessa forma, o surgimento de novas tecnologias e novos hábitos humanos recebe a atenção da gestão da qualidade (JURAN, 1997). Entende-se que os produtos precisam estar adaptados e, se o uso foi mudado com os adventos das técnicas e relacionamentos, o produto também irá se adaptar ao longo de sua trajetória tecnológica. Portanto, quando se fala no termo qualidade no meio produtivo, existe uma recorrência em se buscar a "ausência de defeitos", buscando, de forma contínua, o melhoramento do produto.

Dentro do segmento da gestão da qualidade, existe inúmeras ferramentas que auxiliam na busca por melhorias. Segundo Paladini et al (2012), as ferramentas geralmente têm suas próprias características, de acordo com as pessoas que a utilizam ou do objetivo que são destinadas.

As ferramentas mais utilizadas podem ser divididas em três grupos, as tradicionais, as derivadas e as direcionadas. No primeiro caso, que são as

tradicionais, tende-se a utilizar ferramentas criadas a mais tempo, ou importadas de outras áreas da ciência, como os histogramas, gráficos de controle, check-lists ou diagramas de causa-efeito. Já no segundo caso, se trata de ferramentas derivadas do modelo just-in-time, com origem no Japão em 1954. Estas ferramentas derivadas têm como base o zero desperdício, utilizando conhecidas técnicas como o Kanban e o TPM - Total Productive Maintenance (Manutenção produtiva total), tendo como objetivo principal a produção de forma contínua e organizada. As ferramentas direcionadas, são as que concentram seus esforços para o atendimento do cliente, melhorando seu processo, elas requerem um grau mais sofisticado que as citadas acima, pois utilizam de matrizes e diagramas elaborados para focar no seu objetivo principal (PALADINI et al, 2012).

Seguindo este entendimento, bem como a intenção de cumprir com o objetivo proposto, apresenta-se uma das ferramentas desenvolvidas ao longo dos anos foi o Seis Sigma. A modernidade dos processos à sua época de criação (início dos anos 80), alavancou as operações da Motorola. A ferramenta utiliza técnicas de análises estatísticas para a resolução de problemas e avaliação de processos, sendo, juntamente com outras ferramentas da qualidade, uma ótima opção para análise de robustez do processo e definição de padrões a serem seguidos (PALADINI et al, 2012).

2.3 Seis Sigma

Seis Sigma é uma das grandes metodologias gerenciais que vem sendo adotadas e citadas amplamente no âmbito empresarial. Esta ferramenta tem como objetivo principal o aumento potencial da lucratividade e da performance da empresa em que é aplicada, por meio de propostas de melhorias na qualidade dos seus produtos e também dos processos produtivos, melhorando assim a satisfação dos clientes. Este conceito nasceu, na empresa de tecnologia Motorola, no início dos anos 80, mais precisamente em 15 de janeiro de 1987, com a missão de alavancar a empresa que perdia espaço para seus concorrentes, que no momento levavam melhor qualidade em seus produtos e os forneciam com preços mais atrativos (WERKEMA, 2012).

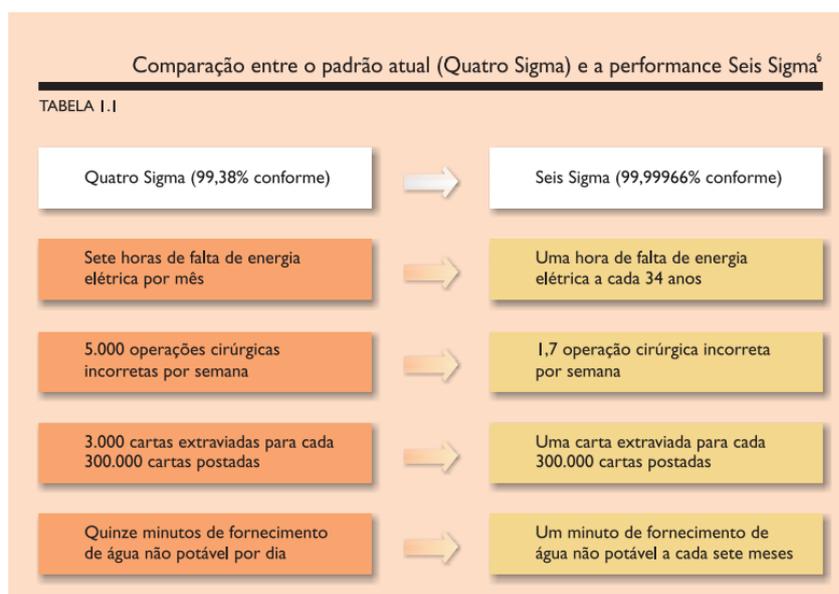
No Brasil, as empresas estão adotando esta ferramenta como uma forma de expandir seus negócios e aumentar a competitividade para com os grandes mercados

globais. A primeira empresa brasileira a implantar o Seis Sigma foi a Whirlpool, em 1999, obtendo um lucro a partir destes projetos de cerca de 20 milhões de reais (WERKEMA, 2012).

A ferramenta em si, tem uma constante evolução de seus métodos. Como exemplo dessa evolução conceitual, pode-se citar o MAIC (Measure, Analyze, Improve, Control) que foi substituído pelo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), agregando ainda mais técnicas de análise e assertividade. Uma das grandes modificações foi introduzir o Lean Manufacturing nesta ferramenta, tornando-a mais conhecida com Lean Six Sigma, onde pode ser utilizado em novas ideias de produtos e processos, antes mesmo de serem implantadas (WERKEMA, 2012).

A meta desta ferramenta é buscar o zero desperdício, ou o mais próximo disto possível. Com isso, grande parte das empresas que a adotam, conseguem realizar quinze reais de lucro para cada real investido. Uma porcentagem estipulada de aceitação de defeito na aplicação da ferramenta é de 3,4 PPM (partes por milhão), gerando um percentual de assertividade de 99,99966%, muito superior ao padrão mais utilizado atualmente, que é o Quatro Sigma, onde este percentual fica na casa de 99,38% (WERKEMA, 2012). Ao primeiro momento, não é possível notar esta mudança como sendo uma melhoria tão significativa, porém quando comparados lado a lado, conforme figura 1, a diferença é perceptível.

Figura 1 - Comparação entre quatro sigma e seis sigma



Fonte: Adaptado de WERKEMA (2012).

O Seis Sigma também possui outros fundamentos, porém igualmente importantes para a sua aplicação. Um dos fundamentos é o foco no cliente final, criando melhorias nos aspectos críticos da qualidade do produto, estreitando a relação cliente-empresa. Outro é a constante busca por diminuição na variação do processo, o tornando-o cada vez mais confiável e estável. Uma das características que diferenciam esta ferramenta das demais é a infraestrutura criada ao seu redor, que deve ser estudada previamente e executada por pessoas capacitadas e também conectadas com a empresa (WERKEMA, 2012).

O sistema DMAIC é uma ferramenta utilizada na metodologia do Seis Sigma, onde as cinco letras em inglês definem a ordem e o objetivo do processo. Canuto (2010) faz uma leitura do significado da ferramenta:

- D - Definir: É a primeira fase, onde toda a equipe deve compreender o problema que será resolvido com esta metodologia e também quais serão os procedimentos adotados para o seu desenvolvimento.

- M - Medir: É a etapa onde deve-se coletar os dados quantitativos referente ao problema a ser resolvido, gerando uma melhor visão das oportunidades de melhorias no processo.

- A - Analisar: Com os dados coletados, esta é a parte onde faz-se a separação das variáveis que são críticas para determinar o problema a ser solucionado e sua prioridade.

- I - Incorporar: Fase onde é aplicada as ações possíveis para que sejam corrigidos os problemas.

- C - Controlar: Define-se aqui quais serão os procedimentos de inspeção adotados para que haja uma garantia do sucesso e conservação da melhoria.

A implantação da estratégia Seis Sigma é feita por uma equipe de especialistas nos processos, estes estão capacitados a analisar, a fim de encontrar uma solução para a verdadeira causa do problema. Esta equipe age como um incentivador da mudança na empresa, implantando e impulsionando o uso de ferramentas da qualidade por mais pessoas. As equipes Seis Sigma devem ter tempo para aprofundar-se na ferramenta e trabalhar no projeto, levando as suas atividades normais simultaneamente (PENA, 2006).

Segundo Pyzdek (2003), os integrantes da equipe geralmente adotam as seguintes funções. 1. Líder executivo, pessoa ou grupo encarregado de proporcionar os meios para que o objetivo do trabalho seja alcançado. 2, Champion, pessoa que

compreende a metodologia Seis Sigma e dá o suporte necessário. 3, Sponsor, é a área ou pessoa responsável pela parte estratégica da empresa. 4, Master black belt, é o responsável por dar todo o suporte técnico e fornecer conhecimento estatístico. 5, Black belt, líder da equipe, está sempre engajado e possui boas habilidades analíticas. 6, Green belt, também são capazes de liderarem os projetos, porém necessitam da supervisão do black belt. 7, Yellow belt, responsável por gerir e executar os projetos de melhoria simples.

O profissional yellow belt está capacitado para a aplicação do Seis Sigma, e tem a função principal voltada para a parte operacional, auxiliando os green belts e black belts na implantação da ferramenta, porém também estão aptos a aplicá-la de modo supervisionado integralmente, não apenas auxiliando no seu suporte.

2.3.1 Índices de performance do processo Pp e Ppk

As ferramentas de análise estatística têm como objetivo avaliar a capacidade e performance do processo atual, e também verificar o quão constante eles são de acordo com suas variações, analisando-as através de fórmulas matemáticas. A ideia central é observar se elas interferem na qualidade do produto de acordo com as especificações dos clientes.

Há, portanto, um alinhamento entre as especificações detalhadas do produto e o acompanhamento estatístico dos elementos a fim de sinalizar se os atributos espaciais e físicos estão sendo atendidos no processo produtivo. O Pp mostra especificamente a capacidade do processo em produzir peças de acordo com o especificado, utilizando indicadores objetivos. Já o Ppk verifica o quão próximo dos limites superiores e inferiores o processo está, pois ele pode estar dentro dos seus limites, mas com um valor muito superior à média alvo (SHEEHY et al, 2002).

A combinação dos índices Pp e Ppk mostram o quanto esta variação, oriunda do processo, está em relação aos limites superiores e inferiores, sendo buscada constantemente valores menores de variabilidade, pois indicam um processo estável. A forma de se analisar é a seguinte: quanto maior o índice Pp e Ppk, maior é a estabilidade do processo. Isso porque o desvio padrão total é utilizado como base e margem de segurança.

Para calcular os índices de performance do processo, utilizamos as seguintes fórmulas conforme figura 2.

Figura 2 - Fórmula Pp e Ppk

$Pp = \frac{USL - LSL}{6 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	$Ppi = \frac{Média - LSL}{3 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	LSL
	$Ppu = \frac{USL - Média}{3 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	
	$Ppk = \text{Min}(Ppi; Ppu.)$	
Legenda:	USL = Limite superior especificado LSL = Limite inferior especificado $\hat{\sigma}$ = Desvio padrão global Média = Média entre USL e LSL	

Fonte: Adaptado de SHEEHY et al, 2002.

Com a apresentação dos dados e validação dos índices de processo Pp e Ppk garantindo um processo estável, tem-se a possibilidade de enviar relatórios aos seus clientes atuais e divulgar os dados abertamente aos possíveis compradores, comprovando a estabilidade futura do processo em decorrência do tempo, e confirmar que atualmente o processo executado está livre de falhas que possam comprometer a funcionalidade do produto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado na presente pesquisa, três tipos de máquinas de usinagem, sendo ela dois tornos verticais e uma mandriladora, ambos no mesmo parque fabril, e com uma temperatura ambiente variável, visto que não possui climatização.

Um dos tornos verticais é da marca Okuma, modelo V40R. Neste caso foi utilizado durante a usinagem das amostras uma velocidade de corte de 300mm/min para o desbaste e também para o acabamento, e um avanço de 0,35mm/rot para o desbaste e 0,1mm/rot para o acabamento. O outro torno é da marca Doosan, modelo Puma Lathe, porém as condições de cortes se mantiveram as mesmas em ambos os casos e utilizaram o inserto WNMG 08 04 04

Figura 3 - Tipo de tornos



Fonte: Do autor

A mandriladora utilizada, foi um equipamento de fabricação própria da empresa, com sistema de fixação por prensa, e com a localização da peça dada por um anel escalonado. Neste anel escalonado é encaixado a tampa do motor elétrico pelo seu encaixe usinado, e o mesmo entra com interferência, garantindo assim a concentricidade entre o encaixe usinado e o diâmetro do rolamento que será realizado no local. As condições de corte utilizadas foram com um avanço de 0,15mm/rot e uma velocidade de corte de 200mm/min, utilizando um inserto CPMT 06 02 04.

Figura 4 - Mandriladora



Fonte: Do autor

Os instrumentos que foram utilizados para realizar as medições são dois rugosímetros, de marcas diferentes e com características construtivas que podem influenciar nas aferições. Um deles foi da marca Mitutoyo, modelo SJ - 210, e o outro da marca Mahr, modelo M1. Ambos os instrumentos abrangem uma faixa de medição de 0 a 100 micron. Os equipamentos usaram o método de medição considerando a rugosidade média R_a , com um comprimento de medição de 17,5mm e um comprimento de onda limite (cutoff) de 2,5mm no modelo da marca Mahr e de 0,8mm no modelo da marca Mitutoyo.

Figura 5 - Rugosímetros



Fonte: Do autor

Nenhuma forma de aferição consegue garantir 100% de assertividade, tendo isto como base, podemos afirmar que todo equipamento tem uma incerteza, que é uma grandeza mensurável, onde define a dispersão do resultado real da medição. A incerteza do instrumento de ambas marcas Mahr são de 0,098 micron.

Figura 6 - Incerteza Mitutoyo

Dados do Equipamento			Valor Padrão		Resultado de Medição		
Faixa de Medição	Unidade	SMC	SMP	Tendência	Incerteza	Veff	k
Ra (μm)	μm	3,2730	3,267	0,006	0,098	Inf.	2,00
Rz (μm)	μm	11,4683	10,76	0,71	0,33	Inf.	2,00
Rm (μm)	μm	12,6427	10,80	1,84	0,39	29	2,09

Fonte: Do autor

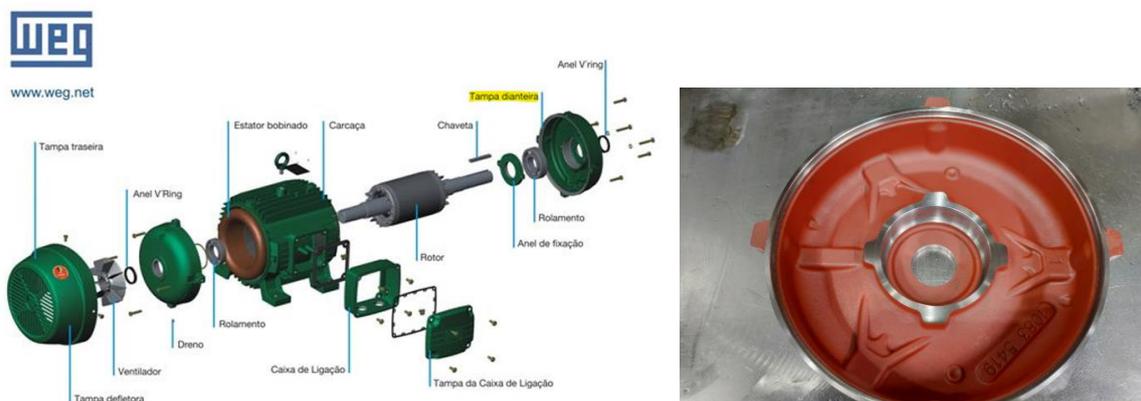
Figura 7 - Incerteza Marh

Dados do Equipamento			Valor Padrão		Resultado de Medição		
Faixa de Medição	Unidade	SMC	SMP	Tendência	Incerteza	Veff	k
Ra (μm)	μm	3,2547	3,267	-0,012	0,098	Inf.	2,00
Rz (μm)	μm	10,7000	10,76	-0,06	0,32	Inf.	2,00
Rm (μm)	μm	10,8333	10,80	0,03	0,33	Inf.	2,00

Fonte: Do autor

O componente em análise tratou-se de uma tampa dianteira do motor elétrico, mais especificamente do assento do rolamento da tampa, que é onde será acondicionado o rolamento. A tampa é um componente que geralmente fica exposto no motor elétrico, com a função de vedar o invólucro contra as impurezas externas e também de suportar cargas radiais no eixo.

Figura 8 - Motor explodido e tampa



Fonte: WEG

4 METODOLOGIA

A resolução dos problemas encontrados nos parques fabris, vem de encontro com a evolução de áreas científicas como as de administração e da gestão da qualidade. Ao longo do tempo houve um aprimoramento do processo produtivo e, como consequência e alinhamento, a ciência também mudou, apresentando novas formas de se analisar e otimizar todo o processo.

Este estudo baseou-se integralmente em uma pesquisa quantitativa, buscando realizar as análises de dados oriundos do processo produtivo e do sistema de medição atual. Além disso, a proposta comparou estatisticamente os diversos fatores que podem influenciar tanto positivamente, quanto negativamente os resultados desejados. Como resultado dessa comparação estatística, obteve-se os primeiros resultados que garantissem um novo processo estável de inspeção da qualidade do componente (tampa do motor) que foi considerado como objeto de estudo.

Os componentes em análise tratam-se de tampas para motores elétricos da empresa WEG S.A, sendo parte imprescindível para funcionamento do mesmo. Estas tampas são fabricadas internamente, porém em outro parque fabril, denominado metalúrgico, que é responsável por fundir o ferro e moldar o formato primário do produto. A usinagem, posteriormente, é responsável por realizar o acabamento deste produto, transformando-o da forma bruta para a usinada, com dimensões mais precisas e rugosidades controladas.

O material em que é concebido a tampa é o ferro fundido cinzento FC 200, que possui características físicas ideais para o bom desempenho do motor elétrico, sendo que o mesmo favorece a absorção de vibrações, mantendo a sua robustez e dureza, aumentando assim a sua durabilidade e confiança na aplicação em diversas áreas do mercado.

Os dados foram coletados seguindo a lógica de análise do seis sigma. Dessa forma, utilizou-se inicialmente o ciclo PDSA (Plan, Do, Act, Estudy), planejando assim a caracterização do problema para entender e estipular as possíveis causas

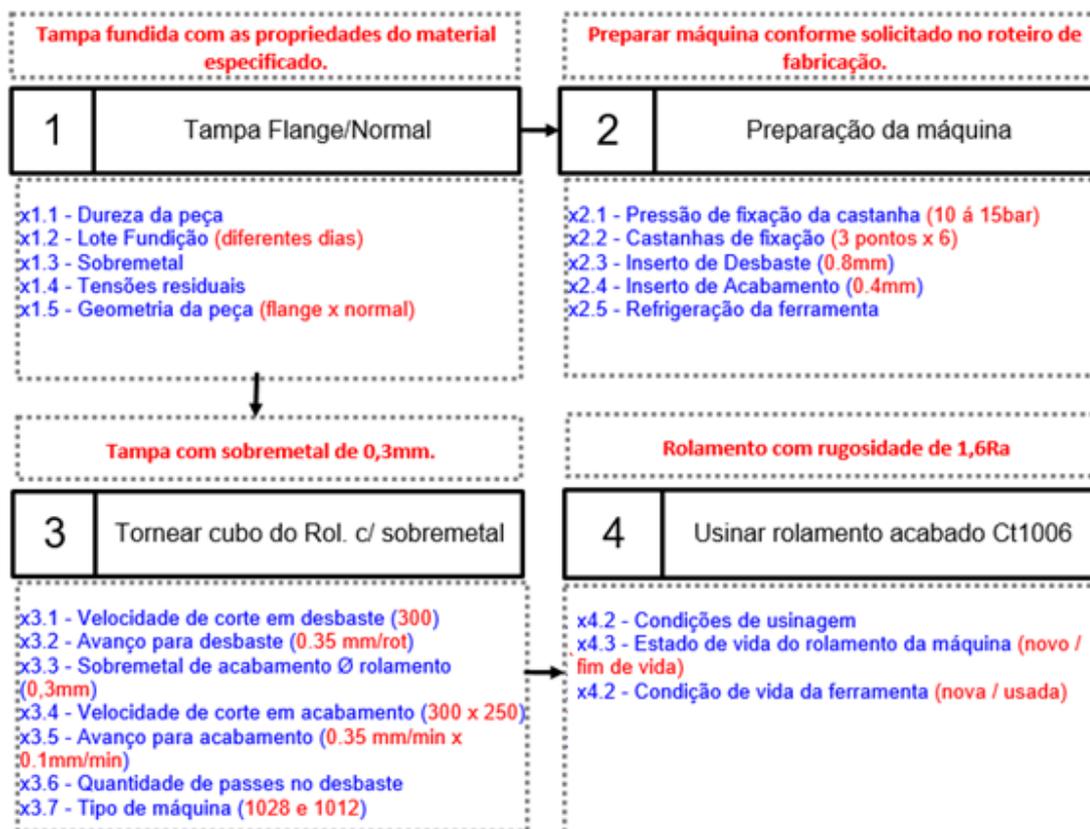
de variação no mesmo, levando em conta aspectos que inicialmente apresentavam risco de variação nos resultados das medições.

Os dados foram coletados realizando a medição das peças em bancada, tomando nota dos valores da rugosidade, em que os mesmos eram coletados através do rugosímetro da marca MAHR e modelo M1 e Mitutoyo, calibrados em laboratório dia 10 de julho de 2021, e lançando estes valores em uma tabela, para posteriormente jogá-los no software JMP versão 14, para realização da validação do MSE (Measurement System Evaluation). Foi utilizado o mesmo software para a avaliação do PPK, porém foi utilizado apenas um tipo de peça, com uma amostragem de 30 componentes, seguindo o procedimento com maior assertividade que foi validado pelo MSE.

Para a resolução do problema proposto no seis sigma, passou-se então para o próximo passo, já com o problema previamente levantado, efetuou-se então um mapa de processo do primeiro teste, levando em consideração todas as etapas produtivas referentes ao componente em análise.

Com as etapas bem definidas, montou-se o mapa de processo propriamente dito, conforme observamos na figura 9.

Figura 9 - Mapa de processo



Fonte: Do autor

Na primeira etapa do mapa processo foi levantado duas possíveis fontes de variação, que seriam os lotes de fundição em dias alternados e a geometria da peça, variando entre tampas dianteiras e flangeadas.

Na segunda e terceira etapa praticamente todos os pontos levantados previamente seriam passíveis de variações no resultado final, porém na etapa seguinte foi decidido manter constante e conforme normas internas estes padrões. Foi utilizado na terceira etapa tornos verticais para fazer o desbaste do componente no rolamento, deixando ainda 0,3mm para realizar o acabamento na mandriladora.

Na quarta etapa do mapa de processo, foi utilizado uma máquina de mandrilamento de fabricação própria da empresa, conforme figura 10, respeitando as condições de corte descritas em normas internas, sendo ela com um avanço de 0,1mm por rotação e 250m/min de velocidade de corte. Foi utilizado também insertos com arestas novas, para obter-se mais estabilidade no processo e verificar se houve variação devido ao seu desgaste. O modo de orientação do componente é através de anel escalonado, onde o mesmo é localizado com interferência entre o encaixe

da tampa e o dispositivo, garantindo assim a concentricidade entre o encaixe e o rolamento.

Figura 10 - Mandriladora



Fonte: do autor

Com o mapa de processo descrito, foi montado a matriz de decisão com base no mesmo, então verificou-se quais seriam as variáveis que seriam mantidas constantes, e as que teríamos que avaliar durante o processo. Algumas variáveis não necessitam de controle, por necessitarem baixa habilidade de controle, conforme figura 11.

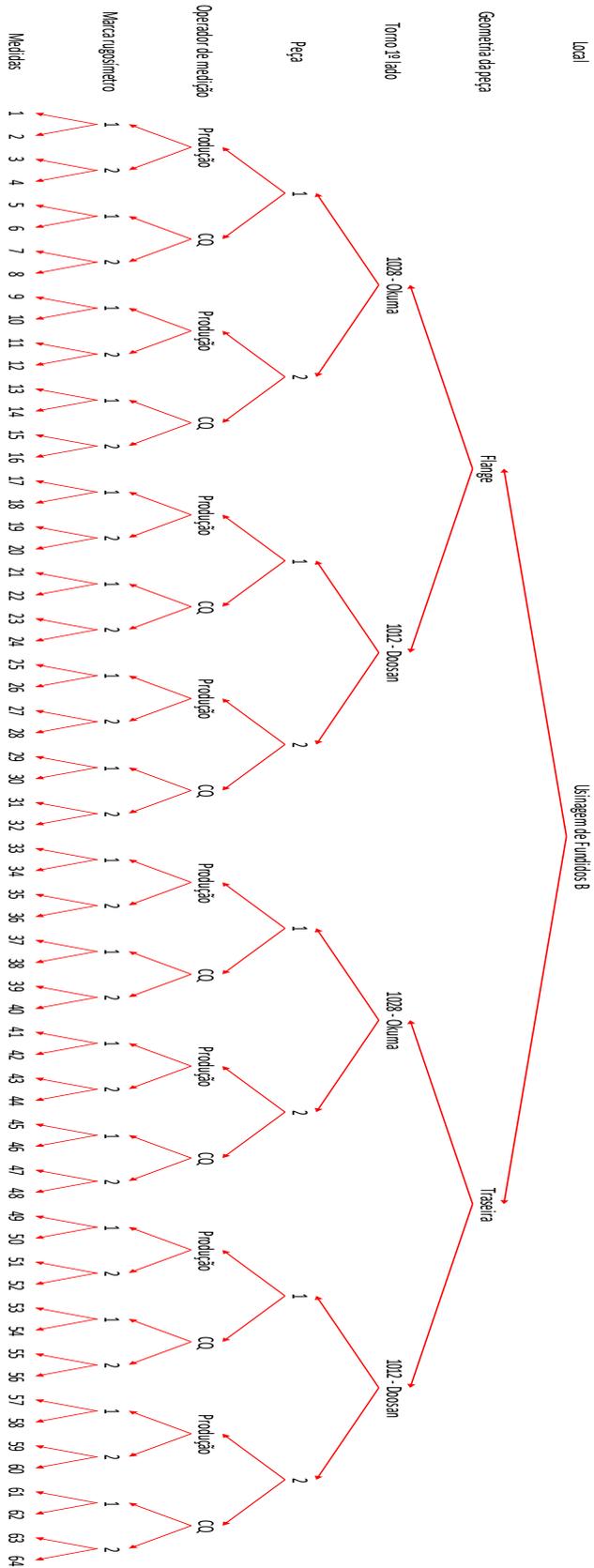
Figura 11 - Matriz de decisão

Fonte de variação / Variável	Preciso aprender?	Habilidade de controle	Decisão	Experimento
Lote Fundição (diferentes dias)	NÃO	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Geometria da peça (flange x normal)	SIM	ALTA	CONTROLAR	COV
Castanhas de fixação (3 pontos x 6)	NÃO	BAIXA	IGNORAR	
Velocidade de corte em desbaste (300)	NÃO	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Avanço para desbaste (0.35 mm/rot)	NÃO	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Sobremetal de acabamento Ø rolamento (0.3mm)	SIM	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Velocidade de corte em acabamento (300 x 250)	SIM	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Avanço para acabamento (0.35 mm/min x 0.1mm/min)	SIM	ALTA	MANTER CONSTANTE	
Tipo de máquina (1028 e 1012)	SIM	ALTA	CONTROLAR	COV e MSE
Operador de medição (CQ e Fábrica)	SIM	ALTA	CONTROLAR	COV
Marca do rugosímetro (Mitotoyo e Mahr)	SIM	ALTA	CONTROLAR	COV

Fonte: Do autor

Estruturou-se então a árvore de processos que podemos visualizar abaixo na figura 12, abrangendo todos os itens do mapa de processo que foi previamente julgado necessário e feito então a análise COV para verificar o comportamento destes parâmetros acima citados.

Figura 12 - Estratégia de amostragem 1



Fonte: Do autor

Com os resultados obtidos, optou-se por avaliar também através do MSE (measurement System Evaluation), a influência de como mais pontos de medições no componente interferem na assertividade da aferição.

Montou-se novamente uma árvore de processos, que será apresentada na análise dos resultados, levando em consideração a medição da rugosidade no torno e na mandriladora, com 3 (três) peças em cada máquina. Também voltamos a avaliar a medição com duas pessoas aferindo e foi considerado a medição em 1, 3 e 5 pontos, sendo 3 aferições em cada ponto.

Obteve-se um resultado positivo para as medições em 3 ou 5 pontos, porém as medições em apenas um ponto teve variações acima do desejado.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A empresa em que o objeto de estudo se encontra é uma multinacional, a WEG S.A. Sendo uma forte referência no meio energético sustentável do mundo, e abrangendo em seu portfólio diversas soluções tecnológicas completas para seus clientes de ciclos longo e curto.

A receita operacional líquida informada aos acionistas, referente ao segundo trimestre de 2020 foi de R\$ 17.470.000.000,00, e a margem líquida foi de 14%, apresentando números consistentes e coerentes com a sua missão de criar produtos de qualidade e soluções eficientes. Para isso, a empresa sinaliza que o investimento é contínuo em inovação e trabalho em equipe (JURAN, 2009).

Dentro da grande gama de produtos e processos da WEG S.A, escolheu-se a usinagem de fundidos para o presente estudo. Este parque fabril está localizado na cidade de Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina.

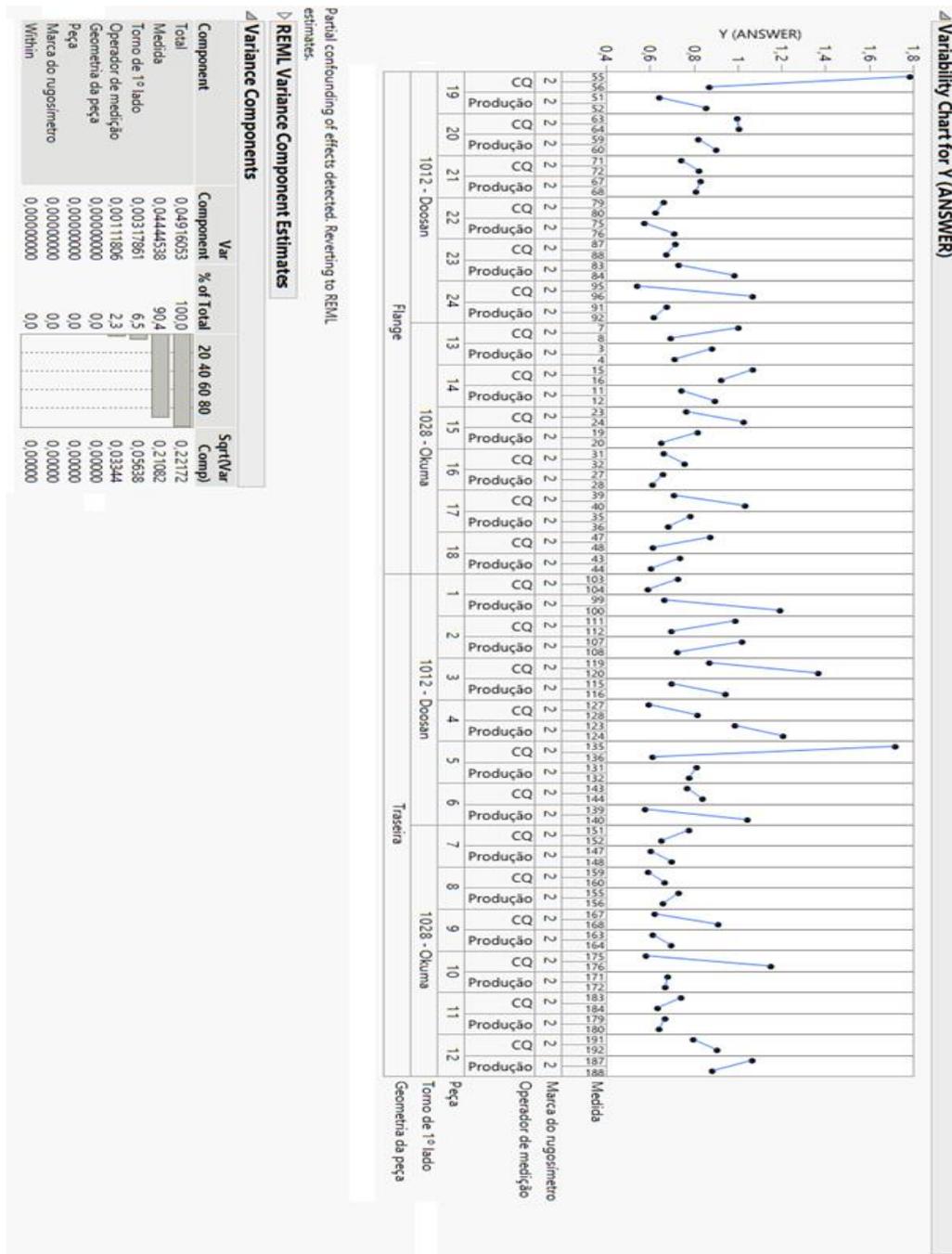
A usinagem de fundidos, como o próprio nome já sugere, realiza, em sua grande maioria, a usinagem de componentes para motores elétricos em ferro fundido cinzento FC200. Um dos componentes produzidos neste parque fabril, é justamente o objeto de análise, a tampa para motores elétricos, que são usinadas nas mais diversas formas e dimensões, variando principalmente de tampa dianteira, traseira e flangeada.

Dentre o processo de usinagem das tampas, existem métricas críticas para serem acompanhadas, e uma delas é a rugosidade do assento do rolamento, que até então não existe um processo documentado e aprovado sobre como realizar o procedimento de inspeção. Sem este método validado, tem-se o risco de enviar aos clientes componentes fora do especificado, necessitando de possíveis manutenções precoces, e também, de perder pontuação para alguma auditoria externa da ISO.

Com base nos resultados levantados na etapa “Measure” do método DEMAIC, observou-se na figura 13, a partir dos dados coletados na árvore de amostragem inicial, que a maior causa de variação é a marca do rugosímetro, sendo que o rugosímetro 1 apresentou mais variação que o rugosímetro 2. Diante do exposto, ambos foram encaminhados para a aferição em laboratório de metrologia e constatou-se então que o instrumento 1 apresentava defeito, não garantindo a repetibilidade, e, portanto, foi necessário enviar para o fabricante realizar a manutenção do mesmo.

Não possuindo outro instrumento disponível para realizar a medição da rugosidade, trabalhou-se então com apenas um deles, porém como os dados já foram levantados anteriormente, não foi necessária uma nova coleta, apenas foram isolados os dados do rugosímetro 2 conforme figura 14, e feito a análise com base nestes, examinando os outros pontos relevantes, sendo eles a geometria da peça, tipo de torno, operador de medição e a medida.

Figura 14 - Gráfico de variação 2



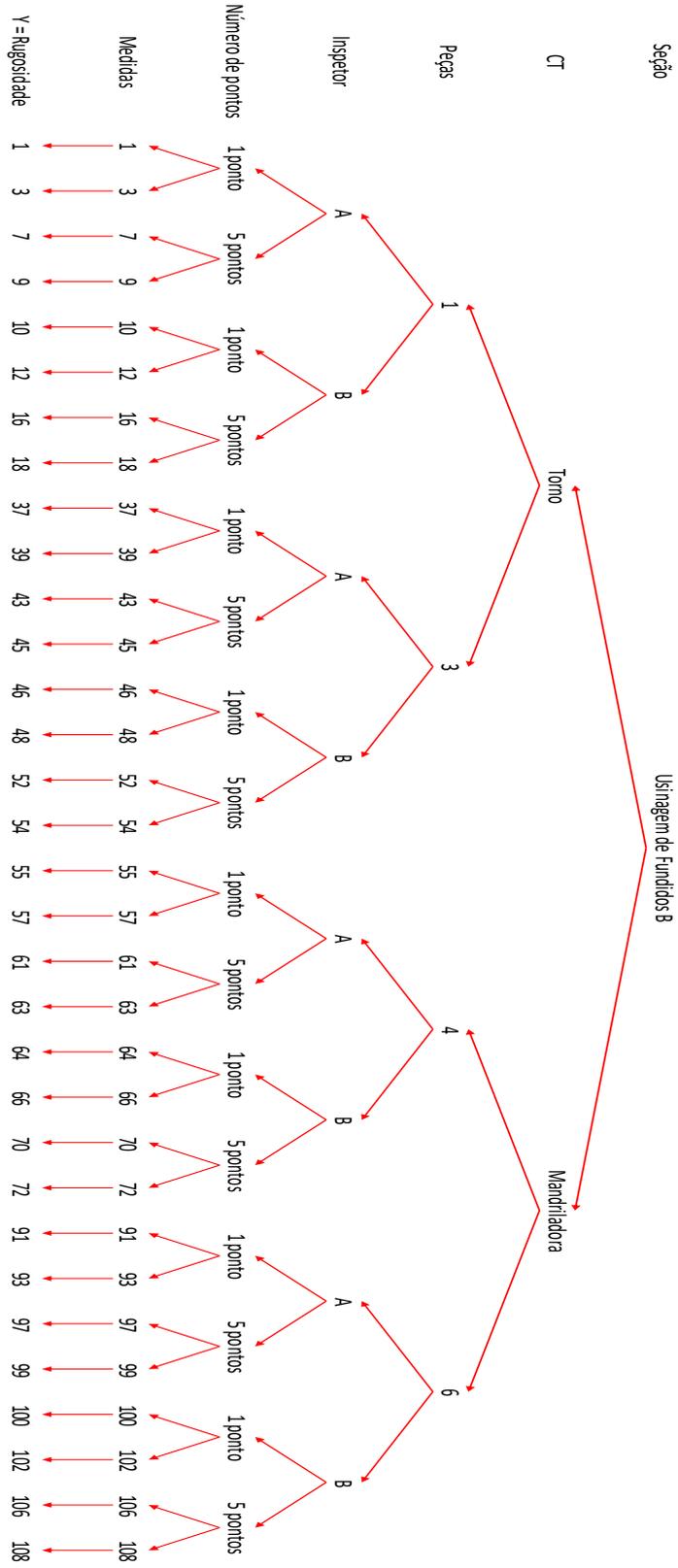
Fonte: Do autor

Constatou-se então que a medida é o principal fator de variação, obtendo um total de 90,4% do campo de tolerância, fazendo com que o método de medição atual não seja confiável. Os outros fatores por sua vez, apresentaram baixa variação, validando que não importa qual torno realizará o desbaste do componente, nem tampouco a geometria da peça e o operador que irá realizar a medição interferem significativamente no resultado final.

Como a medida foi o principal fator de variação, optou-se por fazer o MSE levando em consideração principalmente três medições em cada ponto e também variando a quantidade de pontos, entre 1, 3 e 5. Foi utilizado apenas as tampas dianteiras, devido ao fato da geometria da peça não interferir no resultado final, porém como o operador de medição foi responsável por 2,3% do total da variação, optou-se por manter dois operadores para fazer as medições novamente.

A novidade nesta etapa, conforme observamos abaixo na figura 15, se deu pelo fato de se utilizar a mandriladora e também o torno como objetos de estudos, optou-se por incluir esta máquina para obter-se uma assertividade superior em relação a influência que mais ou menos pontos de medições tem sobre o seu resultado final, visto que o torneamento não consegue alcançar níveis de rugosidade tão baixos comparado ao processo de mandrilamento. Estruturou-se, então, a árvore de amostragem (PENA, 2006), levando em consideração os pontos descritos acima, a fim de obter um entendimento das causas que tiveram maior percentual de variação no COV anterior.

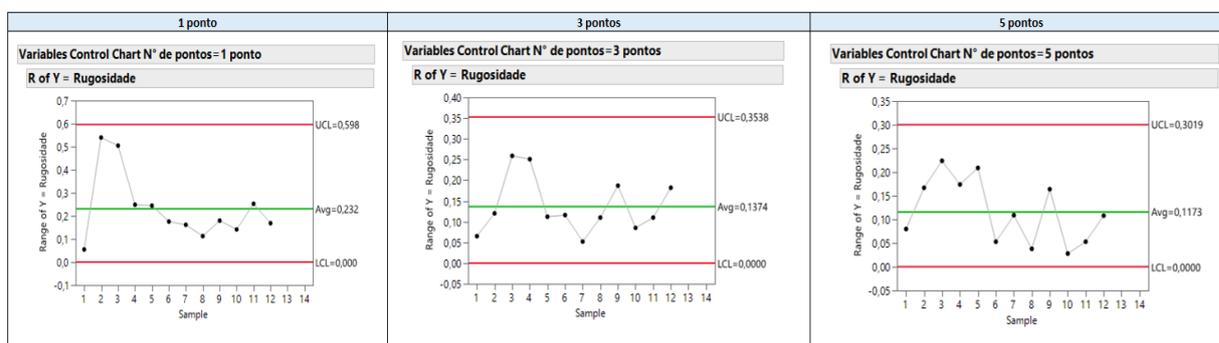
Figura 15 – Estratégia de amostragem 2



Fonte: Do autor

Primeiramente foi avaliado a estabilidade do processo, ou seja, verificar se o mesmo possui algum tipo de desvio temporal das medidas durante as aferições em 1, 3 ou 5 pontos. Como exposto anteriormente, se mostra necessário esta análise para verificar se o objeto apresenta alguma variação além das zonas limitantes (HARRY; SCHROEDER, 2000). Em caso negativo, deve-se corrigir o método de medição antes de realizar uma nova coleta de dados.

Figura 16 – Estabilidade



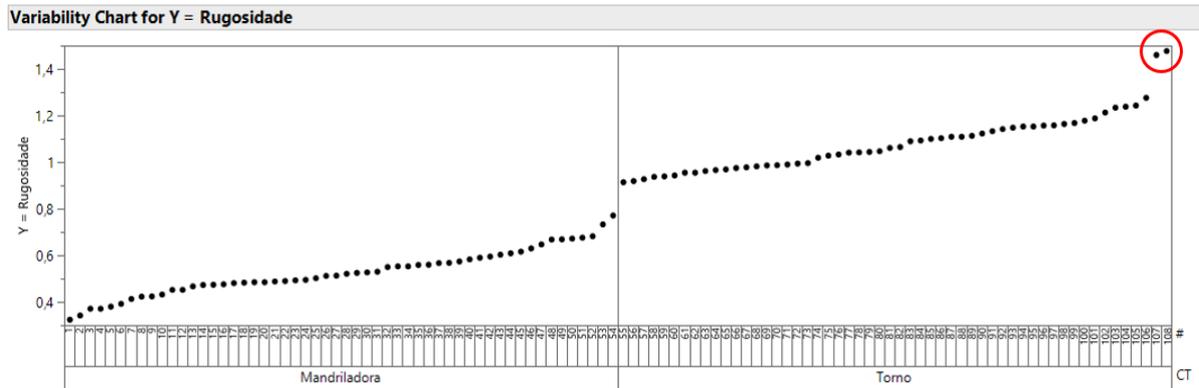
Fonte: Do autor

De acordo com a carta R do software JMP, pode-se observar na figura 16 que as variações são consistentes nos três métodos, pois os mesmos ficaram dentro das zonas limitantes de 1,6 micron e 0 micron. Com isto pode-se afirmar que ambos os métodos estão aprovados em estabilidade, porém é visível que o método de medição com apenas 1 ponto apresentou maior variação que os demais.

Como não há nenhum desvio temporal grande, validou-se os três métodos em estabilidade, garantindo que não há nenhum desvio considerável nas medições realizadas.

Em continuidade, quando avaliado a estabilidade pelo JMP, observou-se que existem dois outliers destacados na figura 17. A teoria evidencia que ao observar pontos fora de desvio padrão, deve-se avaliar o método e as causas do desvio (WERKEMA, 2012). Dessa forma, os outliers foram obtidos no processo de torneamento e ficaram próximos de 1,6 micrómetros. Estes pontos próximos ao limite ocorreram no método de medição com apenas 1 ponto, fazendo assim com que esteja reprovado em estabilidade. Os métodos com 3 e 5 pontos foram aprovados, pois apresentaram menor variação.

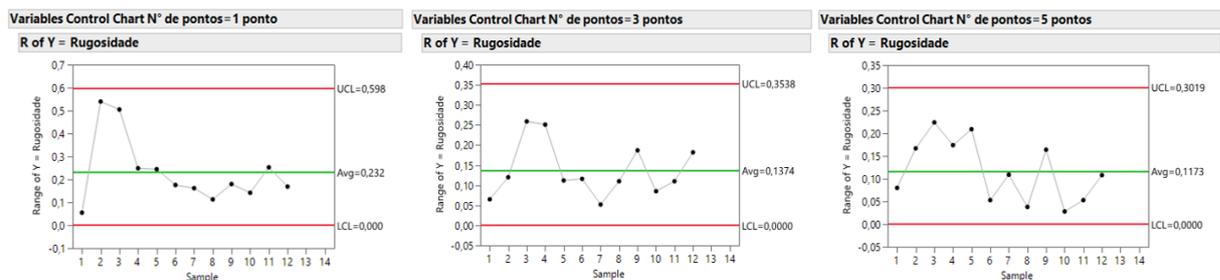
Figura 17 - Estabilidade 2



Fonte: Do autor

Passou-se então a avaliar a discriminação, verificando se a resolução do instrumento de medição atende as medições que são necessárias. De acordo com a figura 18, é preciso atingir ao menos 4 patamares no eixo Y para uma correta medição do componente, pois assim é possível deduzir que o mesmo consegue mensurar além da resolução de 1,6 micron que é justamente a tolerância de processo.

Figura 18 - Discriminação

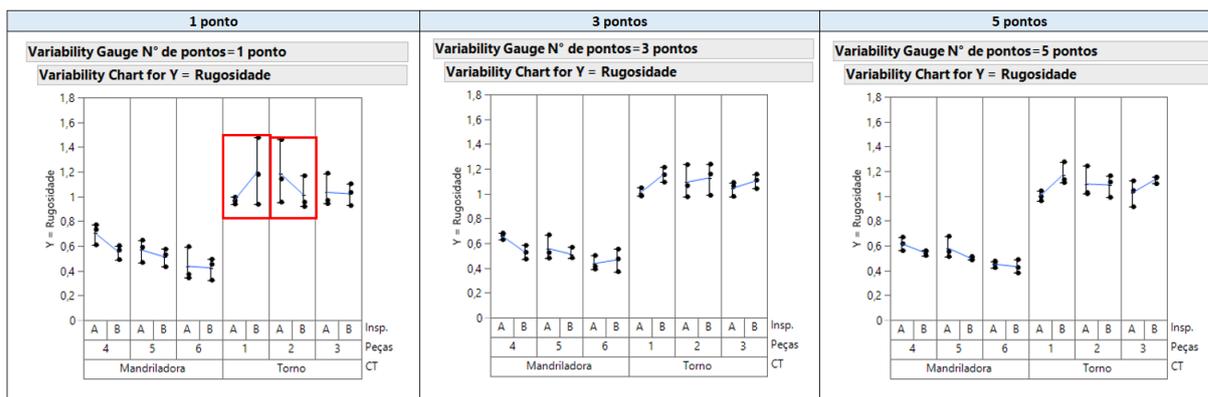


Fonte: Do autor

Com todos os métodos atingindo ao menos 4 patamares, faz com que as variações das medições possam ser avaliadas de forma assertiva, pois o instrumento de medição consegue capturar uma boa variação entre as medidas. Então todos os métodos estão aprovados em discriminação. Com isso, Pyzdek (2003) sinaliza que a discriminação está de acordo com o que a literatura sugere, e é chegado a hora de verificarmos a reprodutibilidade.

Em seguida, a análise se volta para reprodutibilidade, realizando a mensuração dos dados a fim de constatar se a média das variações são consistentes, ou seja, que as variações das medidas entre os operadores não ultrapassem 10% do total do campo de tolerância. A figura 19 mostra a reprodutibilidade entre os três métodos de medição.

Figura 19 - Reprodutibilidade



Fonte: Do autor

Pode-se observar então que a média de três e cinco pontos obteve pouca variação entre os operadores na mesma peça avaliada, porém o método com um ponto de medição apresentou, em alguns casos, cerca de 40% de variação do campo de tolerância total, fazendo com que apenas o método com três e cinco pontos fosse aprovado, e que o método com 1 ponto não seja confiável para realizar a medição. Segundo WERKEMA (2012), o último ponto a ser avaliado no MSE é a repetibilidade, verificando em um sistema de medição se a sua variabilidade é consistente.

Ao avaliar a repetibilidade, espera-se que a diferença encontrada entre os pontos em estudo não exceda 10% do campo de tolerância, garantindo a repetibilidade das medições. A figura 20 deixa evidente a mensuração de cada item da árvore de processo.

Figura 20 - Repetibilidade

Variability Gauge N° de pontos= 1 ponto						Variability Gauge N° de pontos= 3 pontos							
Variance Components						Variance Components							
Component	Var Component	% of Total	20	40	60 80	Sqrt(Var Comp)	Component	Var Component	% of Total	20	40	60 80	Sqrt(Var Comp)
CT	0,14219423	85,9	[Bar chart]			0,37709	CT	0,15602250	94,6	[Bar chart]			0,39500
Peças[CT]	0,00115700	0,6992	[Bar chart]			0,03401	Peças[CT]	0,00081398	0,4938	[Bar chart]			0,02853
Insp.[CT,Peças]	0,00257974	1,6	[Bar chart]			0,05079	Insp.[CT,Peças]	0,00194640	1,2	[Bar chart]			0,04412
Medida[CT,Peças,Insp.]	0,01953292	11,8	[Bar chart]			0,13976	Medida[CT,Peças,Insp.]	0,00607267	3,7	[Bar chart]			0,07793
Within	0,00000000	0,0	[Bar chart]			0,00000	Within	0,00000000	0,0	[Bar chart]			0,00000
Total	0,16546389	100,0	[Bar chart]			0,40602	Total	0,16800897	100,0	[Bar chart]			0,40989

Variability Gauge N° de pontos= 5 pontos						
Variance Components						
Component	Var Component	% of Total	20	40	60 80	Sqrt(Var Comp)
CT	0,15985804	95,1	[Bar chart]			0,39982
Peças[CT]	0,00033125	0,1972	[Bar chart]			0,01820
Insp.[CT,Peças]	0,00279104	1,7	[Bar chart]			0,05283
Medida[CT,Peças,Insp.]	0,00502864	3,0	[Bar chart]			0,07091
Within	0,00000000	0,0	[Bar chart]			0,00000
Total	0,16800897	100,0	[Bar chart]			0,40989

Fonte: Do autor

De acordo com as avaliações geradas no software JMP, a maior variação está entre os centros de trabalho, porém já era esperado e nada impacta na qualidade das medições. Dessa forma, o foco se voltou para a variação entre as peças, operadores e medidas. Pode-se observar que a variação entre peças e operadores foram baixas entre todos os métodos, porém a variação entre medidas no método com um ponto foi de 11,8%, excedendo o que o método sugere, que é de no máximo 10% do campo de tolerância. Portanto, os métodos de três e cinco pontos foram aprovados em repetibilidade, porém o método de um ponto foi reprovado.

Com base nestas análises, constata-se então que os métodos de três pontos e cinco pontos servem perfeitamente para a aferição da rugosidade do rolamento em tampas fundidas, e que o método de apenas um ponto apresenta lacunas que impossibilitam o seu uso. Com o método definido, passou-se então a verificar qual será a frequência de medição do componente, tendo em vista que atualmente não está especificado em norma e tampouco em documentos internos da empresa.

Pois, segundo PALADINI et al, (2012), A ferramenta Seis Sigma utiliza técnicas de análises estatísticas para a resolução de problemas e avaliação de processos, sendo, juntamente com outras ferramentas da qualidade, uma ótima opção para análise de robustez do processo e definição de padrões a serem seguidos

A análise para a definição de uma frequência de medição foi realizada através da avaliação do método Ppk, onde definiu-se a quantidade de amostragem em trinta peças, sendo estas apenas tampas dianteiras, visto que o tipo de peça não influencia no resultado final. Foi utilizado o método de medição validado em MSE de três medições, considerado a média dos mesmos e três pontos distintos a 120°. A avaliação foi via software JMP, que leva em consideração a equação da Figura 21.

Figura 21 - Equação Pp e Ppk

$Pp = \frac{USL - LSL}{6 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	$Ppi = \frac{Média - LSL}{3 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	LSL
	$Ppu = \frac{USL - Média}{3 \times \hat{\sigma} \text{ geral}}$	
	$Ppk = \text{Min}(Ppi; Ppu)$	
Legenda:	USL = Limite superior especificado LSL = Limite inferior especificado $\hat{\sigma}$ = Desvio padrão global Média = Média entre USL e LSL	

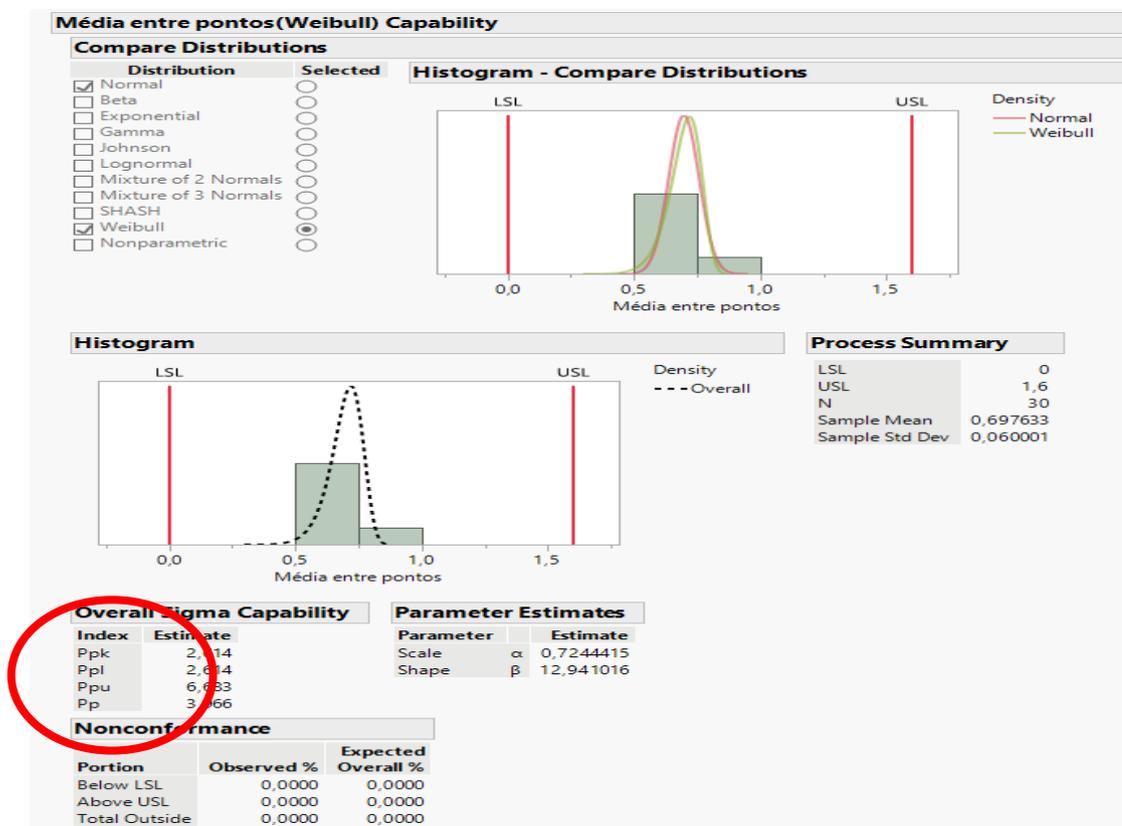
Fonte: Do autor

Os resultados gerados no software JPM obtiveram um Ppk de 2,614, sendo ele com uma confiabilidade acima de 99,9999998% e com uma taxa de rejeição abaixo de 0,002 PPM (peças por mil hão). Fazendo assim com que os objetivos iniciais do trabalho sejam cumpridos com excelência, garantindo que o processo esteja correto.

De acordo com WERKEMA (2012), uma porcentagem estipulada de aceitação de defeito na aplicação da ferramenta é de 3,4 PPM (partes por milhão), gerando um percentual de assertividade de 99,99966%, muito superior ao padrão mais utilizado atualmente, que é o Quatro Sigma, onde este percentual fica na casa de 99,38%. Isso evidencia que o processo atual está dentro da zona de seis sigma, que garantem então a confiabilidade do processo e a estabilidade do mesmo.

Na figura 22, podemos observar destacado em vermelho que o índice Ppk foi de 2,614, e o Pp de 3,966.

Figura 22 - Pp e Ppk



Fonte: Do autor

Com este estudo realizado, obteve-se um entendimento de como se comporta as medições de acordo com a suas variações possíveis no processo, possibilitando alcançar uma melhor forma de realizar a aferição do componente, garantindo a sua estabilidade dimensional e assertividade nos resultados obtidos. Consequentemente permite com que a WEG S.A tenha plena confiança que o produto final chegue no cliente com a sua qualidade garantida de acordo com o projeto realizado.

Foi então desenvolvido um método de medição confiável da rugosidade do assento do rolamento em tampas de ferro fundido cinzento FC200, e estipulado uma frequência de medição aderente aos dados coletados, dados estes coletados a partir da ferramenta da qualidade Seis Sigma, aplicando para definição da frequência o Ppk.

O método de aferição criado foi o de medir a peça em 3 pontos ou 5 pontos distintos, que em caso de 3 pontos seja em 120° e de 5 pontos em 70°, eliminando a medição em um único ponto por não ter se mostrado confiável. A frequência de medição foi estipulada em apenas uma vez por turno, pois os dados apresentados

obtiveram resultados acima do esperado, sem necessidade de uma maior frequência. Assim também foi possível designar esta tarefa ao controle de qualidade da fábrica, que terá tempo hábil para a realização do mesmo.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do processo de controle da aferição da rugosidade, bem como seu método atualizado foi realizado. Como resultado imediato, obteve-se um entendimento de qual processo é o mais assertivo e também qual a frequência mínima de controle da rugosidade do assento do rolamento seria a mais adequada em um processo de mandrilamento na indústria WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.

Após a realização dos testes práticos e análises gráficas dos dados coletados, obteve-se um entendimento de que o processo estava robusto, porém o método de aferição sem um padrão definido gerava dúvidas sobre as medições dos componentes, afetando a qualidade das mesmas. Com o estudo, conseguiu-se eliminar a lacuna existente neste aspecto, garantindo assim um menor índice de defeitos futuros para seus clientes finais, e diminuindo também as não conformidades em auditorias internas e externas.

O método com maior eficácia foi o de medir o assento do rolamento em 5 pontos distintos, intercalando entre eles a 70° e realizando a média de três medições em cada ponto. Porém o método de 3 pontos a 120° e também com a média de três medições em cada ponto também se fez eficaz, atendendo perfeitamente as necessidades do projeto, considerando que será realizado a aferição do componente diariamente.

O estudo foi realizado com um rugosímetro e isso pode ser considerado um limitador do presente trabalho. Entende-se que para aprimorar estes resultados, se faz necessário o uso de pelo menos mais um instrumento de medição, para compreender em profundidade o correto funcionamento do aparelho.

Observando que a rugosidade do assento do rolamento no presente estudo foi bem abaixo de sua tolerância máxima, abre-se precedentes de estudos futuros para a otimização do processo, tanto na parte do desbaste do material, como na parte do acabamento no mandrilamento. Estas otimizações seriam nas condições de cortes, podendo talvez eliminar a ferramenta de acabamento na etapa de torneamento, ou talvez aumentar o avanço de corte do acabamento em ambas as etapas, já que há margem para aumentá-las consideravelmente, obtendo lucros organizacionais.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, Marly Monteiro de; PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da qualidade: teoria e casos. [S.l: s.n.], 2012.
- COSTA NETO, P. L. D. O.; CANUTO, S. A. Administração com qualidade: Conhecimentos necessários para a gestão moderna. São Paulo: Bluncher, 2010.
- FRIEDRICH, Andrea; KABST, Rüdiger; WEBER, Wolfgang; RODEHUTH, Maria. Functional flexibility: merely reacting or acting strategically? *Employee Relations*, v. 20, nº 5, p. 504-523, 1998.
- CHIAVENATO, Idalberto Gestão da Produção uma Abordagem Introdutória. 3. ed. [SI] Manole, 2014 p. 1-57.
- CUDNEY, E.; ELROD, C. A comparative analysis of integrating lean concepts into supply chainmanagement in manufacturing and service industries. *Internacional Journal of Lean Six Sigma*, v.2, n.1, p. 5-22, 2011
- DI GREGORIO, D. Value creation ans value appropriation: an integrative, multi-level framework. *Journal of Applied Business and Economics*, v. 15,p. 39-53, 2013.
- EÑA, RICARDO DE MARSILLAC. Aplicação da metodologia Seis Sigma para melhorar a qualidade de um fornecedor. 2006. 116f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção com ênfase em Sistemas de Qualidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/10171> >. Acesso em: 05 abr. 2014.
- FERNANDES, M.M.; TURION, J.B. Seleção de projetos seis sigma: aplicação em uma indústria do setor automobilístico. *Produção*, v. 17, n. 3, p. 579-591, 2007.
- HARRY, Mikel; SCHROEDER, Richard. Six sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. New York: Doubleday, 2000.
- JURAN, J. M. A qualidade desde o projeto: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Cengage, 2009.
- PALADINI, E. P. Gestão da qualidade: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010
- SANTOS, V. Estudo de Caso: Seis Sigma na Indústria de Fabricação Elétrica. FM2S, 2019. Disponível em:<https://www.fm2s.com.br/estudo-de-caso-seis-sigma-2/>. Acesso em: 10 de fev. de 2020
- SHEEHY, P.; NAVARRO, D.; SILVERS, R; KEYES, V.; DIXON; DEB & PICARD, D. The Black Belt Memory Jogger: A Pocket Guide for Six Sigma Success. Salem-NH-USA: GOAL/QPC, 2002, 1ª Edição.
- WERKEMA, Cristina. Criando a Cultura Lean Seis Sigma. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2012. 259 p.

Yellow Belt em Six Sigma: o que é, diferença entre os Belts e ferramentas. IPOGblog,2019. Disponível em:<https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/yellow-belt/>. Acesso em: 28 de junho. de 2021.