



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**



Bruno Henrique Pedrolo de Souza

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO DA
CAPACIDADE DO PROCESSO DE DESCONTAMINAÇÃO EM UMA
INDÚSTRIA METAL MECÂNICA**

**CARAZINHO
2020**

Bruno Henrique Pedrolo de Souza

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO
DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE DESCONTAMINAÇÃO EM
UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA**

Trabalho Final de Graduação apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Professor Anderson Hoose,
Mestre.

Carazinho

2020

Bruno Henrique Pedrolo de Souza

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO
DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE DESCONTAMINAÇÃO EM
UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA**

Trabalho Final de Graduação apresentada ao Curso de Engenharia de Produção na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Professor Anderson Hoose,
Mestre.

Aprovado em: 09 de julho de 2020

BANCA EXAMINADORA

Anderson Hoose, Mestre
Universidade de Passo Fundo

Nilo Alberto Scheidemantel, Mestre
Universidade de Passo Fundo

Juliana Kurek, Mestre.
Universidade de Passo Fundo

Carazinho

2020

DEDICATÓRIA

Dedico este presente trabalho à duas pessoas especiais na minha vida, as quais, por interferências ao longo do caminho, não estão mais presentes na realidade e sim nas boas lembranças. Estas duas pessoas se intitulam meu avô Neri de Souza e minha avó Nair Pedrolo.

Ambos teriam o enorme orgulho de ver-me neste momento, momento no qual possuo glória e valor, que não possuem condições de comparação. Ao mesmo modo, sei que aonde estão, estarão de inteiro e completo estado de felicidade por esta minha conquista.

AGRADECIMENTOS

Na ordem correta de agradecimentos, o primeiro se dirige à Deus, por proporcionar esta oportunidade de poder realizar o sonho de cursar uma faculdade da relevância que a Universidade de Passo Fundo possui. Não posso deixar de agradecer à Ele por iluminar todos os caminhos percorridos desde o início da minha jornada na Universidade até o momento de despedir-se dela.

Na mesma proporção, agradeço à minha família, composta pelo meu pai André, minha mãe Simone e minha avó Marlene. Sem eles, não seria possível enfrentar todas as dificuldades enfrentadas ao longo do curso, nos momentos de tristezas e de sobrecargas sempre ali presentes, buscando auxiliar de maneira íntegra e verdadeira.

Agradeço também à todos os professores do curso, que, por culpa da universidade, fizeram os caminhos se cruzarem e com isso, ocorrer a transmissão de conhecimentos, o desenvolvimento de habilidades e, principalmente, a ter atitudes dignas de uma pessoa e profissional de renome.

Aos colegas, agradeço pelas experiências trocadas, pelas convivências e principalmente pelas amizades formadas.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de realizar um estudo qualitativo em um novo processo de descontaminação, com o intuito de garantir e controlar de maneira rigorosa a qualidade do produto em produção. Busca-se qualificar o processo dentro dos limites da qualidade, analisando o retrospecto do processo ao longo do período de estudo, por meio de ferramentas de qualidade e de análise de Capabilidade. Com isso busca-se definir a condição final do processo e capacitando-o ou não no quesito de entregar produtos conformes. Ao fim, concluiu-se que o processo possui capacidade de produzir com qualidade assegurada pela especificação e propondo melhorias para a manutenção do estado do processo para um período futuro de análise.

Palavras-chave: Cartas de Controle, Capabilidade, Processo, Processo de Descontaminação.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Considerações Iniciais	12
1.2 Problema	12
1.3 Justificativas	13
1.4 Objetivos.....	13
1.4.1 Objetivo Geral	13
1.4.2 Objetivos Específicos	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Significado da Qualidade	15
2.1.1 Melhoria Contínua da Qualidade.....	15
2.2 Controle Estatístico de Processo	16
2.2.1 Definição	16
2.2.2 Objetivos do Controle Estatístico	16
2.2.3 Ferramentas do Controle Estatístico.....	16
2.3 Gráficos de Controle.....	18
2.3.1 Desenvolvimento	18
2.3.2 Gráfico das Médias	18
2.3.2.1 Gráfico das Médias para valores individuais.....	19
2.3.3 Gráfico das Amplitudes	21
2.3.3.1 Gráfico da Amplitude Móvel.....	22
2.4 Análise da Capacidade de um Processo	23
2.4.1 Desvio Padrão.....	23
2.4.2 Índice Cp	24
2.4.3 Índice Cpk	24
2.4.4 Análise do valor de Cp ou Cpk.....	25
3 MÉTODO DO TRABALHO	26
3.1 Descrição do objeto de estudo	26
3.2 Procedimento metodológico	27
3.2.1 Componentes Estudados	28
3.2.2 Amostragem	30
3.2.3 Coleta dos Dados	30

3.2.4 Análise dos Dados	32
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
4.1 Informações do Processo	33
4.2 Organização dos dados	34
4.3 Aplicação no Software.....	37
4.3.1 Cartas de Controle	37
4.3.2 Capabilidade de Processo	38
4.4 Resultados das Cartas de Controle	39
4.5 Resultados da Capabilidade de Processo.....	42
4.6 Possibilidades de Melhorias	44
5 CONCLUSÃO.....	46
5.1 Conclusões do Trabalho	46
5.2 Recomendações para trabalhos futuros	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A	50
APÊNDICE B.....	51
APÊNDICE C	52

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de Gráfico de Controle das Médias	19
Figura 2 - Exemplo de Gráfico da Média Individual.....	20
Figura 3 – Exemplo de Gráfico de Controle das Amplitudes.....	21
Figura 4 - Exemplo de Gráfico da Amplitude Móvel.....	23
Figura 5 - Comportamento da Curva.....	26
Figura 6 - Componente Êmbolo	28
Figura 7 - Componente Guia	28
Figura 8 - Componente Tubo Camisa	29
Figura 9 - Procedimento de Extração	31
Figura 10 - Configuração da Carta de Controle	38
Figura 11 - Configuração da Capabilidade de Processo.....	38
Figura 12 - Carta de Controle Guia	39
Figura 13 – Carta de Controle Êmbolo.....	40
Figura 14 - Carta de Controle Tubo Camisa.....	41
Figura 15 - Capabilidade Guia.....	42
Figura 16 - Capabilidade Tubo Camisa.....	43
Figura 17 - Capabilidade Êmbolo.....	44

Lista de Quadros

Quadro 1- Especificação das Amostras	30
Quadro 2 - Limites Especificados	33
Quadro 3 - Dados Coletados no Processo	34

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico do Desvio Padrão 50

Tabela 2 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico das Amplitudes .. 51

Tabela 3 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico das Médias 52

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de introduzir o contexto de desenvolvimento da pesquisa, identificando o problema a ser analisado, bem como a justificativa para a escolha do tema e os objetivos a serem alcançados ao final da pesquisa.

1.1 Considerações Iniciais

A demanda da indústria metal-mecânica aumenta à medida que novos produtos são desenvolvidos, os quais necessitam de novos métodos para assegurar a qualidade. Um produto sem qualidade, mancha a imagem da empresa fornecedora, comprometendo a permanência desta no mercado. Na maioria das vezes, à falha no controle de qualidade compromete a segurança do usuário final. Quando relacionado às empresas que fabricam produtos que exigem grande precisão, como por exemplo cilindros hidráulicos para elevação e movimentação de cargas, qualquer falha é inaceitável, pois um simples vazamento pode acarretar em danos catastróficos.

Para combater estes riscos, muitas organizações adotam processos de verificação da qualidade ao longo das etapas de produção. Além da verificação, é necessário conhecer e compreender o processo, a fim de constatar possíveis pontos deficientes e defini-los como críticos.

De acordo com as exigências do mercado perante a confiabilidade dos produtos, este trabalho apresenta a aplicação do controle estatístico de processo, demonstrando a necessidade da qualidade estar diretamente relacionada com os processos produtivos.

1.2 Problema

Com a constante interligação entre cliente e fornecedor, a qualidade tem sido uns dos fatores mais determinantes. Conforme Paladini (2012), um processo que não desenvolve um produto conforme suas especificações, compromete por completo a qualidade. Para garantir que um produto seja produzido em conformidade com as especificações de projeto, é necessário controlar e avaliar o processo eficientemente.

Campos (2014) cita que controlar um processo significa analisar, padronizar e estabelecer pontos de controle, com o intuito de evitar a ocorrência de problemas. Como instrumento destas tarefas, as ferramentas de qualidade são técnicas que possibilitam

analisar e propor soluções para problemas que interferem no bom desempenho dos processos de trabalho (SOUZA, 2018).

Nesse contexto, tem-se como Questão de Pesquisa: é possível garantir que o processo de limpeza e descontaminação de componentes de cilindros hidráulicos seja controlado e confiável?

1.3 Justificativas

Com a frequente instabilidade do mercado, prospecionar novos clientes é uma árdua tarefa para as organizações industriais. Segundo Carpinetti (2016), para conquistar mercados e se manter competitivo, é preciso atender aos requisitos dos clientes quanto à produtos e serviços. Diante disto, a qualidade é um dos pontos mais críticos para novos acordos comerciais, associado com o preço do produto e o tempo de entrega.

Para Montgomery (2017), compreender e melhorar a qualidade são fatores-chave que induzem ao sucesso, ao crescimento e a uma melhor posição de competitividade de uma empresa. Campos (2014) afirma que, um dos pilares base da qualidade é produzir produtos que supram concretamente as necessidades dos clientes, a fim de assegurar a sobrevivência da empresa.

Logo, a importância deste estudo é evidenciada em uma empresa fabricante de cilindros hidráulicos, localizada no norte do Estado do Rio Grande do Sul, onde a garantia de maior qualidade em seus produtos com a aplicabilidade do controle estatístico de processo, vai buscar avaliar pontos críticos, possibilitando a manutenção de sua carteira de clientes, bem como, prospecção de novos mercados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar se o processo de limpeza e descontaminação de componentes de montagem de cilindros é capaz de atender o limite especificado no projeto.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são definidos como:

- 1 Revisar literaturas referente às ferramentas de controle estatístico de processo;
- 2 Coletar dados que caracterizem a situação atual, por meio de relatórios gravimétricos;
- 3 Empregar as ferramentas de controle estatístico e de capacidade no processo;
- 4 Identificar possíveis pontos de melhorias.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Diante da necessidade de reunir conhecimentos pertinentes à Qualidade e suas ferramentas, este capítulo apresentará um composto de informações e saberes sobre o que é qualidade e sua fase de melhoria contínua, a definição e o uso do Controle estatístico, bem como as ferramentas utilizadas para validar os processos e garantir qualidade aos produtos, com um enfoque maior para os gráficos de controle e análises de capacidade de um processo.

2.1 Significado da Qualidade

Para Montgomery (2016) a qualidade tornou-se um dos mais relevantes diferenciais no momento da tomada de decisão dos consumidores na escolha de produtos e serviços que concorrem entre si. Para Carpinetti (2016), a qualidade engloba a conformidade do produto acabado com as especificações do projeto.

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), a avaliação da qualidade de um produto ou serviço, é necessário a utilizar métodos estatísticos. Para Souza (2018) garantir a qualidade é uma forma de assegurar que os padrões e requisitos de qualidade operacionais já estabelecidos sejam utilizados em todos os processos futuros de desenvolvimento, seja de um produto ou serviço.

2.1.1 Melhoria Contínua da Qualidade

Para Souza (2018), a melhoria da qualidade envolve estratégias e ações práticas para que a empresa possa identificar fatores que afetam negativamente as atividades e processos do seu dia a dia. A melhoria contínua da qualidade evidencia-se não pela discussão de teorias em torno do assunto, mas através de ações práticas que demandam investimento de tempo, pessoas comprometidas e dinheiro.

Para Souza (2018), melhoria contínua é o conjunto de atividades planejadas através das quais, todas as partes da organização objetivam aumentar a satisfação do cliente, tanto para os clientes internos quanto externos.

2.2 Controle Estatístico de Processo

2.2.1 Definição

Segundo Souza (2018), Controle Estatístico de Processo é um conjunto de ferramentas da qualidade que executa uma coleta de dados e analisa os resultados de determinados processos para verificar o andamento, controlá-los, com isso evitar possíveis falhas que possam ocorrer durante a execução dos mesmos. Montgomery (2016) afirma que o processo deve ser capaz de operar com pequena variabilidade em torno das dimensões-alvo ou nominais das características de qualidade do produto.

O controle estatístico de processo consiste em um sistema de inspeção por amostragem, que é aplicado ao longo do processo, acompanhado na sua execução, com a intenção de detectar a presença de variações que possam interferir ou prejudicar o bom andamento do processo e seus resultados (LOZADA, 2017).

Para Ramos, Almeida e Araújo (2013), a estatística é uma ciência que se propõe a coletar, organizar e analisar os dados para tomada de decisões.

2.2.2 Objetivos do Controle Estatístico

A finalidade do uso da ferramenta de controle estatístico é determinar se o processo de produção é apropriado para produzir produtos que atendam as especificações dos clientes.

Conforme Lozada (2017) o CEP possui a competência de tornar os processos mais estáveis e previsíveis, permitindo o melhor rastreamento de sua evolução, contribuindo para a melhoria contínua, necessidade de grande importância no ambiente competitivo.

Ainda complementa que o controle viabiliza não somente a detecção de problemas, mas também sua imediata correção, definindo as ações aplicáveis.

Para Souza (2018), Controle Estatístico também tem como objetivo auxiliar no aumento da produtividade/resultados da empresa, evitando desperdícios de matéria-prima, insumos e produtos.

2.2.3 Ferramentas do Controle Estatístico

a) Estratificação

Carpinetti (2016) define estratificação como a divisão de um grupo em subgrupos. Com isso, busca-se evidenciar fatores que possuem variações, interferindo no resultado do processo ou como causa do problema a ser resolvido.

b) Folhas de Verificação

Segundo Carpinetti (2016), esta ferramenta é utilizada para descrever como será feita determinada coleta de dados, com base em uma determinada situação problema. Consiste em um documento previamente definido para garantir a simplificação dos dados, conferindo rapidez à posterior análise.

c) Diagrama de Ishikawa

Também chamado de Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Espinha de Peixe, segundo Carpinetti (2016), o Professor Kaoru Ishikawa desenvolveu o método para ilustrar as causas que levam à ocorrência de determinado problema.

d) Gráfico de Pareto

O Princípio de Pareto é caracterizado por um gráfico de barras verticais, o qual permite evidenciar de forma assertiva, a importância dos problemas e suas causas (CARPINETTI, 2016).

e) Histograma

Para Carpinetti (2016), o histograma é um gráfico de barras que dispõe as informações de modo que permite a visualização de um conjunto de dados, elucidando um valor central e a dispersão ao redor.

f) Diagrama de Correlação ou de Dispersão

O Diagrama de Dispersão é um gráfico utilizado para entender a relação entre duas variáveis (CARPINETTI, 2016).

g) Gráficos de Controle

Esta ferramenta será desmistificada no capítulo 2.3.

2.3 Gráficos de Controle

Para Montgomery (2016), os gráficos de controle são umas das fundamentais ferramentas para realizar as etapas de Analisar e Controlar na metodologia DMAIC ou DMAMC.

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), os gráficos de controle são construídos com o objetivo de monitorar continuamente se determinado processo está ou não sob controle estatístico. Ainda cita que é de extrema importância frisar que, no monitoramento de um processo, deve-se sempre iniciar com a construção do gráfico de controle para a dispersão, pois, caso ele indicar que o processo está fora de controle estatístico, não haverá necessidade do gráfico de controle para o nível do processo.

Lozada (2017) cita que os gráficos de controle têm o objetivo de determinar limites que permitem verificar se o processo está sob controle, sendo isentos de causas especiais.

2.3.1 Desenvolvimento

Montgomery (2016) define a construção dos gráficos com três linhas. A linha central, representa o valor médio da característica da qualidade, correspondente ao estado sob controle. As outras duas linhas são chamadas de limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC). Os limites superior e inferior de controle devem ser definidos de modo que satisfaça as especificações do projeto de determinado produto.

2.3.2 Gráfico das Médias

Para Montgomery (2016), o gráfico de controle (X barra), conforme a figura 1, é responsável por garantir o controle da média do processo ou o nível médio da qualidade empregada. Para a construção dos limites superior e inferior de controle, Montgomery (2016) demonstra equações (1), (2) e (3):

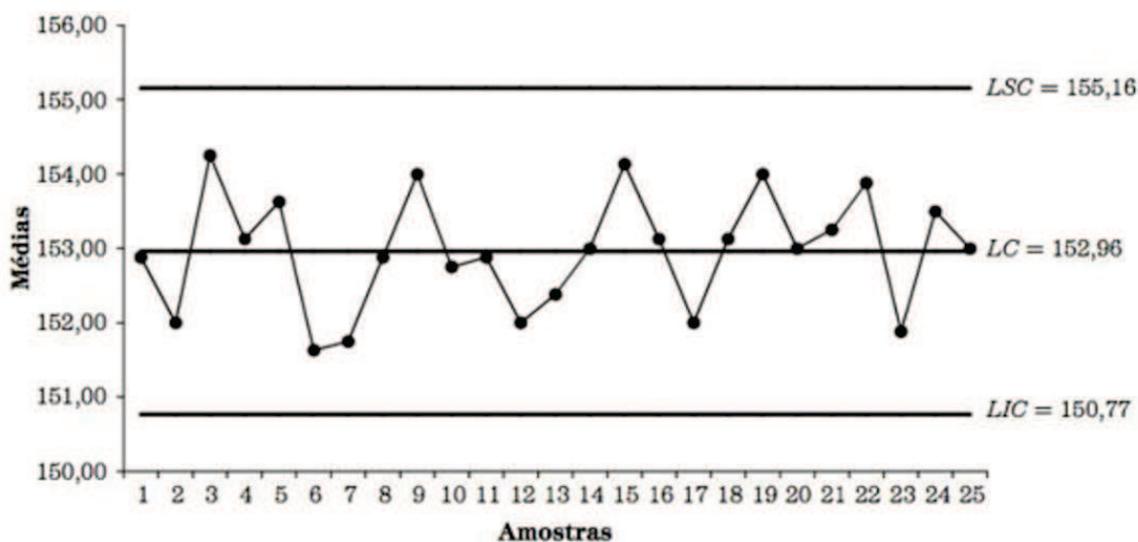
$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (1)$$

$$\text{Linha central} = \bar{\bar{x}} \quad (2)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (3)$$

A constante A_2 faz referência à uma tabela de valores que variam conforme o tamanho da amostra do estudo. Os valores destas constantes estão localizados no Apêndice C. A variável $\bar{\bar{x}}$ faz referência à média das médias. Já o valor \bar{R} é referente à média das amplitudes.

Figura 1 - Exemplo de Gráfico de Controle das Médias



Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 66

2.3.2.1 Gráfico das Médias para valores individuais

De acordo com Ramos, Almeida e Araújo (2013) utiliza-se o gráfico de controle de observações individuais, conforme a figura 2, para monitorar e controlar o nível do processo, porém quando as amostras possuem tamanho único, cujo fator “n” é igual a 1. Ainda complementa as equações (4), (5) e (6) para construção do gráfico.

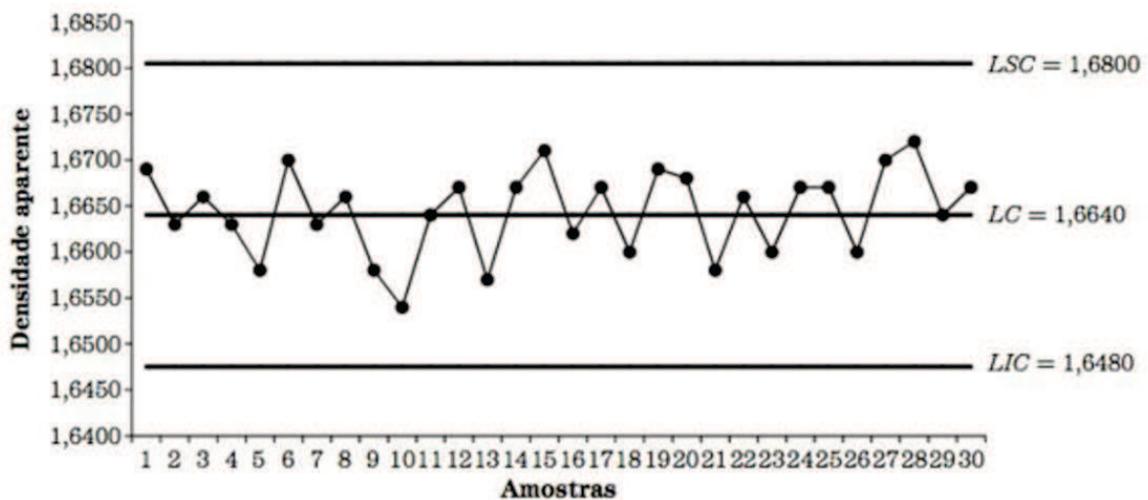
$$LSC = \bar{X} + k \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

$$LC = \bar{X} \quad (5)$$

$$LIC = \bar{X} - k \frac{\overline{MR}}{d_2}, \quad (6)$$

A constante “k” é referente ao desvio padrão. Para processos que buscam qualidade total, utiliza-se $k=3$, ou seja, três desvios padrão para cima e três para baixo da média. Assim ao todo, a análise será feita sob a perspectiva de Seis Sigma. A variável \bar{X} faz referência à média das amostras e a variável \overline{MR} é referente a média das amplitudes individuais. A constante d_2 faz referência à uma tabela de valores que variam conforme o tamanho da amostra do estudo. Os valores destas constantes estão localizados no Apêndice C.

Figura 2 - Exemplo de Gráfico da Média Individual



Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 109

2.3.3 Gráfico das Amplitudes

O controle da variabilidade do processo pode ser realizado tendo como base o gráfico de controle amplitude (R), como demonstrado na figura 3. Montgomery (2016) define nas equações (7), (8) e (9), como é feito a definição dos limites de controle para a construção do gráfico das amplitudes.

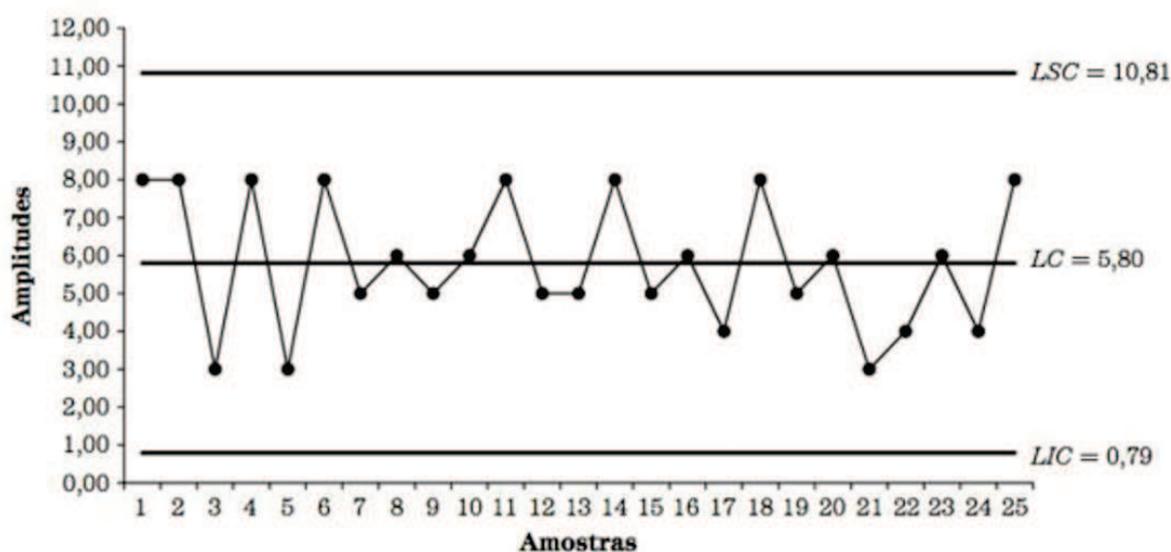
$$LSC = D_4 \bar{R} \quad (7)$$

$$\text{Linha central} = \bar{R} \quad (8)$$

$$LIC = D_3 \bar{R} \quad (9)$$

As constantes D3 e D4 fazem referência à uma tabela de valores que variam conforme o tamanho da amostra do estudo. Os valores destas constantes estão localizados no Apêndice B. O valor \bar{R} é referente à média das amplitudes.

Figura 3 – Exemplo de Gráfico de Controle das Amplitudes



Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 63

2.3.3.1 Gráfico da Amplitude Móvel

Utilizado quando o estudo a ser realizado se baseia em amostra de tamanho individual, ou seja, $n=1$. Ramos, Almeida e Araújo (2013) explica o uso deste procedimento quando subgrupos amostrais não são formados, ou a taxa de produção é baixa, ou ainda as medidas de um parâmetro diferem muito pouco e produzem um desvio padrão muito pequeno. Para isso, Montgomery (2016) defende o uso da amplitude móvel, calculada pela equação (10).

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (10)$$

A partir da amplitude móvel é possível representar os dados graficamente por meio do gráfico de amplitude móvel, conforme a figura 4. Para Ramos, Almeida e Araújo (2013), os limites de controle também podem ser calculados pelas equações (11), (12) e (13), conforme abaixo:

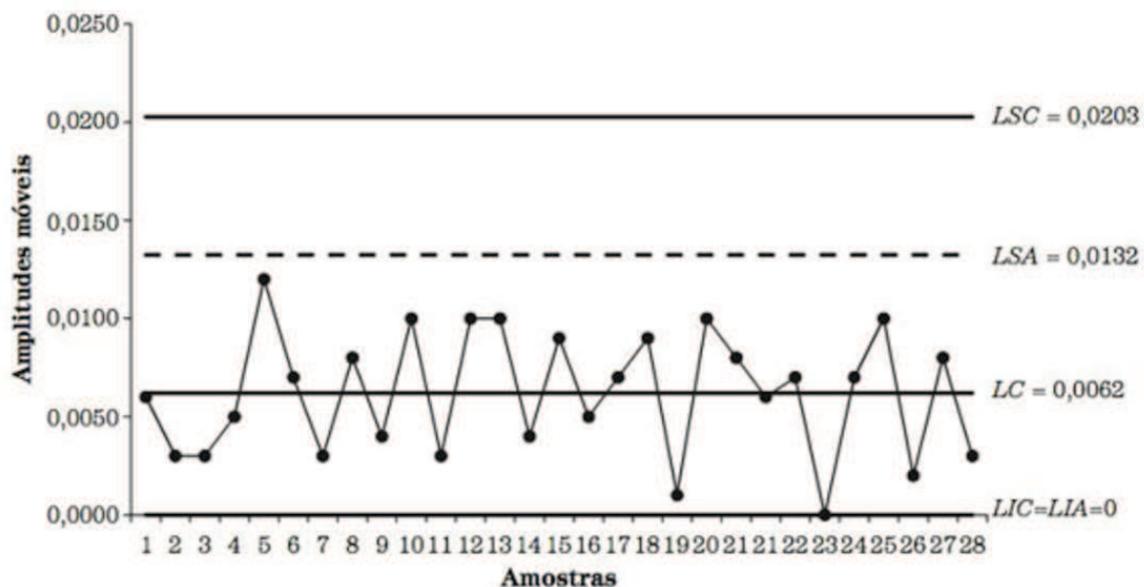
$$LSC = D_4 \overline{MR} \quad (11)$$

$$LC = \overline{MR} \quad (12)$$

$$LIC = D_3 \overline{MR}. \quad (13)$$

As constantes D_3 e D_4 fazem referência à uma tabela de valores que variam conforme o tamanho da amostra do estudo. Os valores destas constantes estão localizados no Apêndice B. A variável \overline{MR} é referente a média das amplitudes individuais.

Figura 4 - Exemplo de Gráfico da Amplitude Móvel



Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 108

2.4 Análise da Capacidade de um Processo

Para Montgomery (2016), a análise da capacidade de um processo como um estudo formal para se estimar a capacidade do processo. Complementa ainda que, a capacidade de um processo avalia pontos críticos para a qualidade e não o processo, sendo fundamental para implementação de uma metodologia de melhoria da qualidade.

2.4.1 Desvio Padrão

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), desvio padrão pode ser entendido como a estimativa da variabilidade do processo, sendo definida pela equação (14), quando o estudo utilizar amostras de tamanho $n=1$.

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

(14)

2.4.2 Índice Cp

Muito utilizada nos estudos de avaliações de capacidade, o Índice “Cp” ou “Razão da Capacidade de um Processo”. Montgomery (2016) afirma que a razão da capacidade de um processo é uma medida da habilidade de o processo fabricar um produto que atenda as especificações. Ramos, Almeida e Araújo (2013) afirma que o índice Cp foi projetado para dar uma medida indireta da habilidade do potencial do processo em satisfazer as especificações.

Segundo Montgomery (2016), o cálculo do índice Cp é feito por meio da equação (15), onde as siglas “LIE” e “LSE” representam Limite Inferior de Especificação e Limite Superior de Especificação, respectivamente.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (15)$$

Para Ramos, Almeida e Araújo (2013) define de forma mais simples e sucinta a maneira de obter a capacidade de processo:

$$C_p = \frac{\text{especificação do produto}}{\text{capacidade do processo}} = \frac{\text{dispersão permitida do processo}}{\text{dispersão natural do processo}}.$$

O numerador faz referência ao tamanho da amplitude sobre a qual as observações do processo podem variar. O denominador é referente ao tamanho da amplitude sobre a qual o processo está atualmente variando.

2.4.3 Índice Cpk

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), o índice Cpk é capaz de avaliar a variabilidade natural do processo com base na variabilidade permitida. Também possui a função de analisar a posição do processo em relação aos limites superior e inferior especificados. O índice Cpk correlaciona a distância escalar entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo.

Quando o processo não possui centralização sobre a média dos limites de especificação, não é possível utilizar o índice Cp.

Para Montgomery (2016), quando o processo possui limites unilaterais, ou seja, somente um dos limites de especificações, utiliza-se as equações (16) e (17).

- Com apenas o Limite Superior de Especificação:

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (16)$$

- Com apenas o Limite Inferior de Especificação:

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (17)$$

Desta forma, Montgomery (2016) diz que o Cpk mede a capacidade efetiva do processo, sendo adotado como valor da capacidade Cpk o menor valor entre Cps e Cpi.

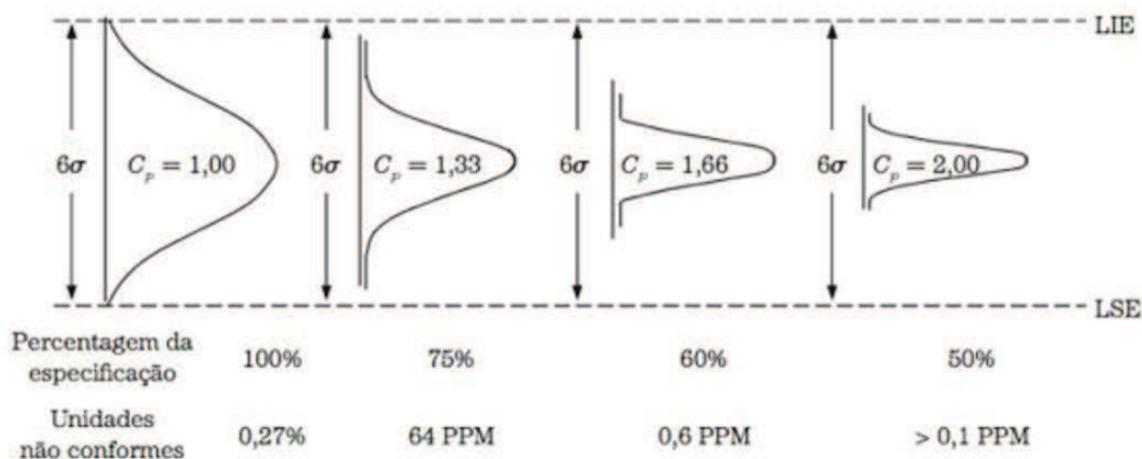
2.4.4 Análise do valor de Cp ou Cpk

Segundo Ramos, Almeida e Araújo (2013), há três classificações para a definição da capacidade de determinado processo por meio do cálculo de Cp ou Cpk

- a) Quando $C_p < 1,00$, a capacidade do processo é inadequada à especificação exigida. O processo é considerado vermelho.
- b) Quando $1,00 \leq C_p \leq 1,33$, a capacidade do processo está dentro da especificação exigida. O processo é considerado amarelo.
- c) Quando $C_p > 1,33$, a capacidade do processo é adequada à especificação exigida. O processo é considerado verde.

Estas classificações estão demonstradas na Figura 5, onde pode-se analisar o comportamento da curva perante aos limites superior e inferior especificado, bem como, abrangendo os seis desvios padrão.

Figura 5 - Comportamento da Curva



Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 116

Pode-se observar que quanto maior o índice C_p mais concentrados estão os valores das variáveis do processo. Isto se reflete diretamente na quantidade de não conformidades produzidas por este processo.

3 MÉTODO DO TRABALHO

Este capítulo é caracterizado por apresentar o objeto deste estudo, bem como a metodologia utilizada. O procedimento metodológico descreve as etapas que foram utilizadas para a realização do trabalho, incluindo a coleta dos dados, definição da amostra e a construção dos gráficos de controle.

3.1 Descrição do objeto de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma empresa fabricante de cilindros hidráulicos, sediada no município de Carazinho, no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. A empresa está posicionada entre as maiores fabricantes de cilindros hidráulicos à nível de Brasil, competindo rigorosamente com empresas multinacionais. Com produtos que atendem a necessidade de clientes do ramo agrícola, de guindastes, de empilhadeiras e rodoviário, a empresa é altamente reconhecida pela robustez, qualidade e agilidade no fornecimento.

Cada produto é projetado com base nas especificações de cada cliente. Com isso o produto é produzido com extrema precisão e qualidade, para que atenda totalmente as necessidades exigidas. Aliado a um processo enxuto, a matéria de elevada qualidade e

fabricação própria dos componentes, os cilindros possuem elevado controle de qualidade em todas as etapas de produção. Desde o recebimento da matéria prima até a expedição, os cilindros recebem acompanhamento e inspeções frequentes para garantir a eficiência de cada processo.

3.2 Procedimento metodológico

O presente estudo tem como metodologia de base o sequenciamento de atividades e ações definidas no procedimento DMAIC. Segundo Carpinetti (2016), o método DMAIC, (conhecido internacionalmente como Define, Measure, Analyse, Improve e Control) ou DMAMC, convertido para a língua portuguesa, é uma metodologia similar ao ciclo PDCA (Planejar, Desenvolver, Controlar, Agir), porém com um arranjo diferenciado.

A sigla DMAMC faz referência às etapas de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, ligadas à um determinado processo. Ainda conforme Carpinetti (2016), as etapas são definidas como:

1. Definir: Nesta etapa deve-se definir o objeto de estudo, ou seja, o processo no qual será feita o estudo. É necessário também definir o problema que deve ser eliminado para obtenção do índice de qualidade Seis Sigma e como será estruturado as etapas seguintes;
2. Medir: Esta etapa compreende a obtenção e coleta de dados do processo em estudo, com o intuito de verificar a situação atual e os pontos que podem ser alvos de melhorias. É necessário seguir a definição de amostragem para qualificar a assertividade dos dados obtidos;
3. Analisar: Com os dados obtidos anteriormente, nesta etapa deve ser feita a análise dos mesmos, buscando identificar possíveis e potenciais causas para o problema inicialmente definido. É justamente neste ponto que o controle estatístico e o estudo da capacidade de processo são utilizados para conferir assertividade e relevância para a análise;
4. Melhorar: Tendo como base os resultados da análise, os planos de melhorias podem ser estruturados nesta etapa. Além disso, é possível colocar em prática algumas das melhorias e verificar a eficácia das mesmas no processo;
5. Controlar: Por fim, nesta etapa, é preciso garantir a execução dos planos de melhorias. Esta garantia passa pelas atualizações de procedimentos, inclusão de novos pontos de controle e revisão de outros documentos que estejam relacionados ao processo estudado.

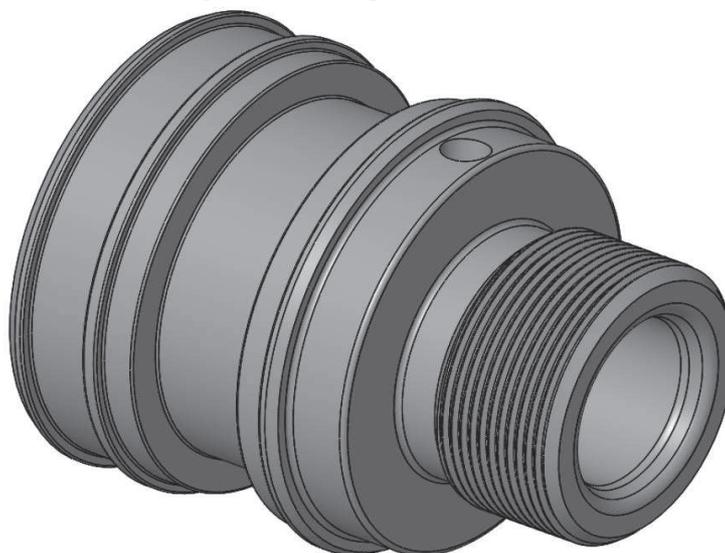
Deste modo, o presente estudo seguirá as etapas descritas abaixo:

1. Definir o processo e do problema do estudo;
2. Coletar dados com o uso de relatórios de gravimetria;
3. Analisar com o uso de cartas de controle e estudo de capacidade o processo estudado;
4. Propor melhorias com base nos resultados das análises;
5. Procedimentar as melhorias, com o enfoque na manutenção da eficiência do processo.

3.2.1 Componentes Estudados

Os componentes utilizados neste estudo, são constituintes indispensáveis de cilindros hidráulicos. Os três componentes utilizados no estudo são: a) Êmbolo; b) Guia e c) Tubo Camisa, representados nas figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

Figura 6 - Componente Êmbolo



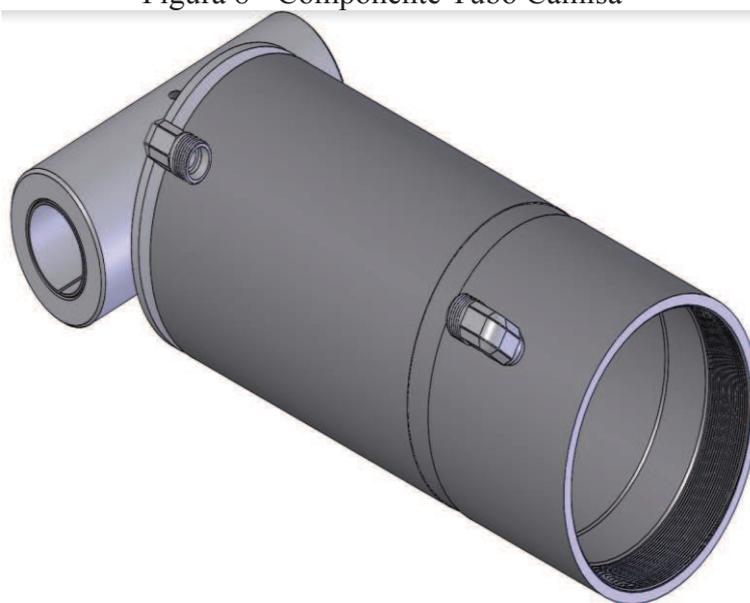
Fonte: Autor (2019)

Figura 7 - Componente Guia



Fonte: Autor (2019)

Figura 8 - Componente Tubo Camisa



Fonte: Autor (2019)

As figuras 6, 7 e 8 representam uma variante de cada componente. A empresa possui inúmeras variações de êmbolo, guia e tubo camisa. Estas variações serão desprezadas. Logo, por exemplo, para o componente Êmbolo, considera-se todos os modelos fabricados. Os desenhos e as representações em 3D dos componentes foram disponibilizados pela Engenharia de Produto.

3.2.2 Amostragem

Para a realização do estudo, foram utilizadas amostras de cada componente coletadas referente ao período de Março de 2018 à Março de 2020. Conforme o quadro 1 abaixo, está ilustrado a quantidade de amostras, bem como a porcentagem de abrangência dos dados perante o total de amostras.

Quadro 1- Especificação das Amostras

Componente	Amostras Totais do processo no período	Amostras utilizadas no estudo	Porcentagem de abrangência
a) Êmbolo	97	97	100 %
b) Guia	97	97	100 %
c) Tubo Camisa	97	97	100 %

Fonte: Autor (2019)

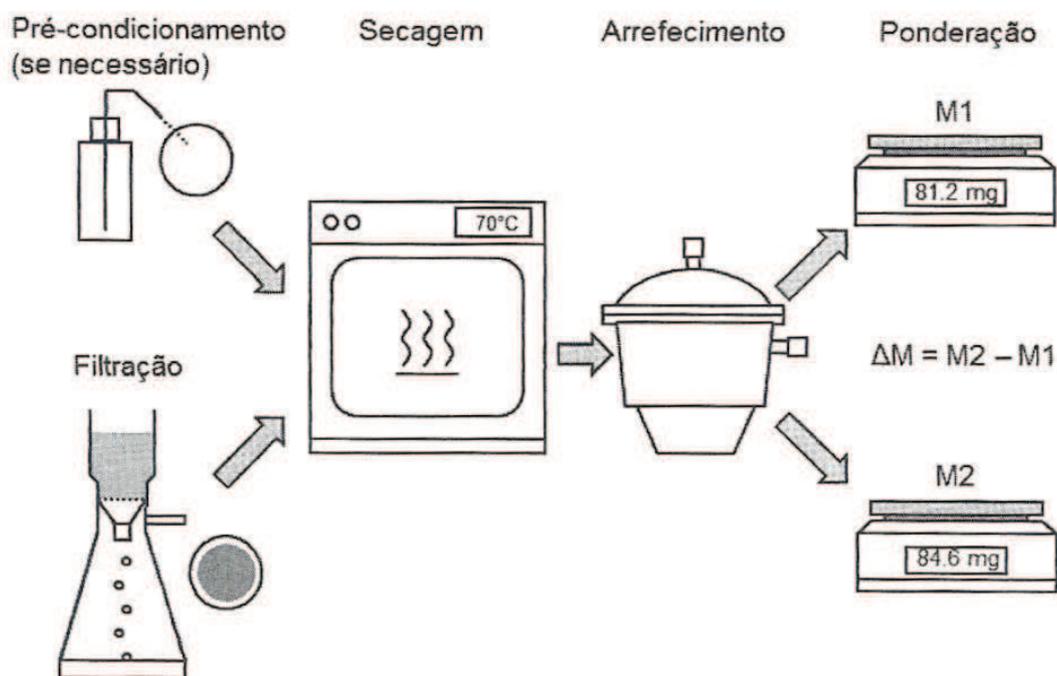
3.2.3 Coleta dos Dados

Para a coleta de dados, é utilizado procedimento descrito conforme norma VDA 19.1, que define os passos para coletar dados referente à contaminação de determinado produto.

Estes procedimentos estão descritos abaixo:

1. Uma membrana especial necessita ser esterilizada, por meio de secagem em estufa por 30 minutos a 75°C;
 2. Após a estufa, é necessário remover a umidade, por meio do uso do dessecador, por 30 minutos a uma pressão de vácuo de 300 kPA, aplicado pela bomba de vácuo;
 3. Logo após o término do tempo, pesa-se a membrana com balança analítica de precisão e anota-se o peso obtido;
 4. Posiciona-se a membrana no conjunto de filtração, para que o solvente utilizado para limpeza do componente seja filtrado e a contaminação fique retida na membrana;
 5. Novamente, a membrana deve ser estufada por 30 minutos à 75°C;
 6. Repete-se o passo 2, utilizando o dessecador com mesmos parâmetros.
- Todo esse procedimento descrito está representado na figura 9 abaixo:

Figura 9 - Procedimento de Extração



Fonte: VDA (2015)

Por fim, estabelece-se uma razão entre o diferencial de massa da membrana de análise, dado pela massa após análise subtraindo-se a massa da membrana antes da análise e dividindo-se pela área total lavada do componente, conforme equação 18.

$$G_A = \frac{M \cdot 1000}{A_c} = \left[\frac{\text{mg}}{1000 \text{ cm}^2} \right]$$

(18)

A multiplicação pelo valor “1000” serve apenas para ajuste da unidade de massa. Desta forma, determina-se em mg/m² a classificação de contaminação do componente utilizado.

Para os componentes Êmbolo e Guia, o procedimento é executado em toda a totalidade da peça. Já no componente Tubo Camisa, apenas é feito o procedimento na parte interna. Isto é justificado, pois a montagem dos componentes ocorre na área interna do tubo. A área externa não necessita de lavagem crítica antecedente ao processo de montagem.

3.2.4 Análise dos Dados

A análise dos dados foi realizada via software. O software utilizado foi o Minitab ano 2019 na versão acadêmica de acesso livre, o qual possibilita a confecção dos gráficos de controle e análise de capacidade de processo de maneira mais ágil e assertiva, considerando o comportamento do processo e da dispersão dos dados. O software também retorna o gráfico da curva do processo, mostrando o possibilitando a visualização do posicionamento perante os limites especificados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os dados referentes ao estudo do processo, objeto de análise desse trabalho. Estes dados retratados em tabelas e gráficos de controle, demonstram a realidade do processo. Estes dados também retratam o resultado de uma alteração do processo, o qual foi inserido um novo método de execução por meio de um novo equipamento.

Seguindo a metodologia informada no capítulo anterior, os dados foram analisados de modo a determinar a capacidade do processo, medida através do índice CP e do índice CPk.

4.1 Informações do Processo

Para o início do estudo, é necessário identificar as diretrizes pelos quais terá base para análise do processo. O limite estipulado pela norma VDA 19, na classificação adotada pela empresa, segue demonstrado no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Limites Especificados

Nível	Limite Inferior de Contaminação	Limite Superior de Contaminação
Classificação 6	0 mg/m ²	111 mg/m ²

Fonte: Autor (2020)

O processo em seu estado inicial compreende dois equipamentos, sendo um manual, responsável pela descontaminação do componente Tubo Camisa e o outro equipamento, de operação automática, que compreende a manipulação dos componentes Guia e Êmbolo. Estes equipamentos possuem programação de temperatura, conforme o boletim técnico do produto utilizado. Posteriormente, ambos os equipamentos foram substituídos por um equipamento automatizado que agiliza e padroniza os parâmetros do processo, sem haver variações por operação manual. Os dados não consideram o equipamento, visto ser objetivo deste estudo, analisar o processo de limpeza e descontaminação.

4.2 Organização dos dados

Os dados coletados e mencionados no Item 3.2.3 foram organizados e dispostos no Quadro 3, onde estão listados de maneira individual, ou seja, por componente, obedecendo a quantidade inicialmente definida no Item 3.2.2.

Quadro 3 - Dados Coletados no Processo

Número da Amostra	Componentes		
	Tubo Camisa (mg/m ²)	Guia (mg/m ²)	Êmbolo (mg/m ²)
1	37,53	15,84	24,51
2	5,2	10,01	23,14
3	1,73	68,41	50,88
4	31,2	57,06	53,88
5	10,92	28,21	36,79
6	12,89	52,01	45,91
7	7,72	14,83	27,49
8	22,25	46,61	41,39
9	36,35	58,37	23,84
10	43,88	99,68	90,96
11	20,69	21,71	23,49
12	30,23	18,64	23,49
13	20,15	37,95	31,98
14	53,69	46,07	22,45
15	15,44	63,61	45,49
16	83,35	47,82	54,32
17	90,14	56,28	45,67
18	43	64,24	30,9
19	35,76	44,13	67,87
20	18,67	46,64	65,74
21	25,62	40,9	41,01

22	71,34	7,73	30,3
23	110,14	24,99	26,88
24	25,5	27,02	43,77
25	19,98	24,38	26,94
26	31,6	21,92	38,93
27	34,27	65,78	13
28	53,83	24,01	56,44
29	102,38	27,64	67,26
30	130,56	14,85	60,66
31	32,6	15,76	29,97
32	62,49	31,46	64,35
33	15	34,6	53,47
34	52,29	38,15	23,54
35	62,38	66,44	50,44
36	15,32	69,99	44,83
37	12,96	62,74	30,49
38	60,74	33,11	30,48
39	39,08	12,61	16,08
40	22,67	42,9	8,04
41	28,54	55,95	23,84
42	9,24	16,72	69,15
43	27,55	10,86	15,14
44	32,17	38,77	13,05
45	10,74	18,44	43,82
46	21,21	62,19	43,42
47	12,11	48,29	27,52
48	24,04	62,83	29,49
49	20,75	12,49	36,86
50	18,32	24,44	30,27
51	23,35	43,87	35,76
52	20,05	38,2	22,93
53	70,64	67,08	35,76

54	61,54	44,05	75,45
55	13,19	51,36	37,6
56	49,42	16,9	34,57
57	6,9	21,5	14,98
58	19,79	26,94	13,15
59	16,83	26,5	59,53
60	10,09	15,99	48,1
61	11,71	21,51	32,06
62	21,35	48,13	39,08
63	8,97	23,21	68,52
64	36,12	36,04	21,68
65	26,01	43,45	33,53
66	5,37	26,03	36,91
67	38,58	31,09	26,09
68	5,67	21,83	15,29
69	11,49	14,28	14,7
70	24,15	23,12	9,28
71	6,07	12,22	62,85
72	12,27	46,61	12,08
73	17,19	26,55	47,97
74	14,62	15,99	33,5
75	3,39	14,28	19,28
76	14,27	22,87	9,28
77	3,74	6,8	19,09
78	5,7	12,49	7,25
79	34,19	22,02	20,19
80	17,88	26,35	26,9
81	9,83	11,6	24,7
82	6,5	15,36	16,26
83	16,14	11,6	17,36
84	7,77	15,47	18,97
85	16	23,33	8,13

86	12,06	32,62	19,51
87	6,36	42,51	23,5
88	14,73	56,26	41,11
89	8,54	75,4	49,62
90	23,41	53,11	75,53
91	19,84	31,92	55,84
92	31,39	44,66	32,95
93	17,89	36,64	42,27
94	32,02	25,93	41,79
95	23,42	18,01	29,91
96	35,17	43,57	36,07
97	18,34	27,83	41,98

Fonte: Autor (2020)

Tendo esses dados listados no quadro 3, inicialmente é possível verificar que há itens fora da faixa de tolerância especificada, porém estes pontos serão evidenciados nos resultados a seguir.

4.3 Aplicação no Software

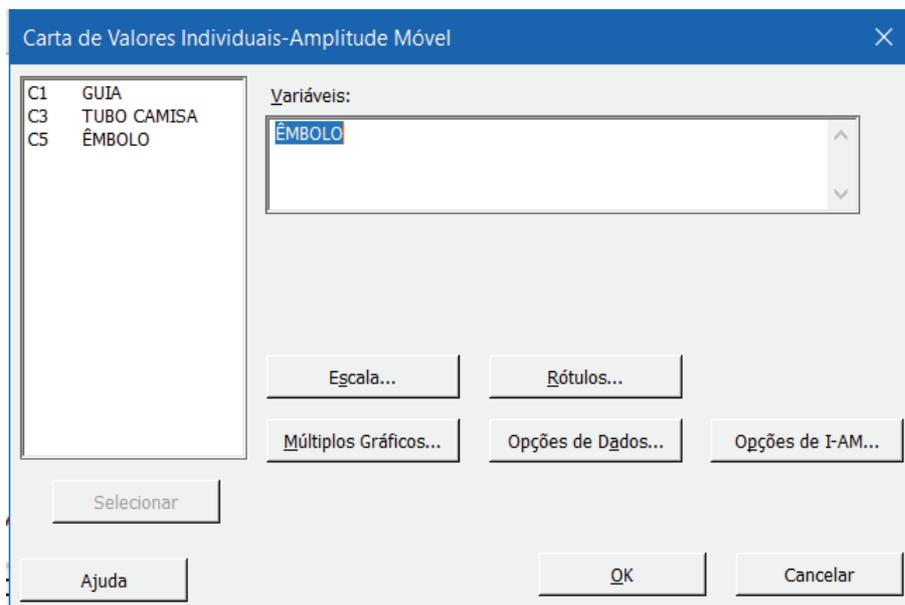
A maneira pela qual os dados foram dispostos, juntamente com a grande interatividade e facilidade de uso na interface do MiniTab possibilita uma rápida aplicação e retorno dos resultados, para, posteriormente, serem analisados.

4.3.1 Cartas de Controle

Para a emissão das cartas de controle, foi necessário acessar a aba “Estat” no menu superior do software. Após foi selecionada a sequência “Carta de Controle” >> “Cartas de Variáveis para Dados Individuais” e por fim “I-AM”, o qual gera os dois gráficos em uma mesma carta.

Para a configuração, utilizou-se o procedimento e configurações exibidas na Figura 10.

Figura 10 - Configuração da Carta de Controle



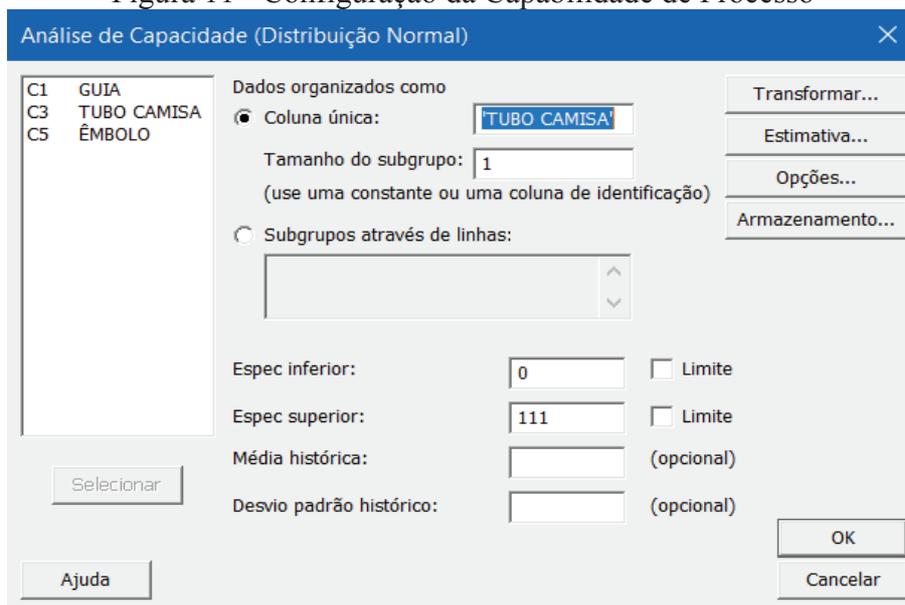
Fonte: Autor (2020)

4.3.2 Capabilidade de Processo

Para a emissão dos gráficos de Capabilidade, foi necessário acessar a aba “Estat” no menu superior do software. Após foi selecionada a sequência “Ferramentas da Qualidade” >> “Análise de Capacidade” e por fim “Normal”.

Para a configuração, utilizou-se o procedimento e configurações exibidas na Figura 11.

Figura 11 - Configuração da Capabilidade de Processo



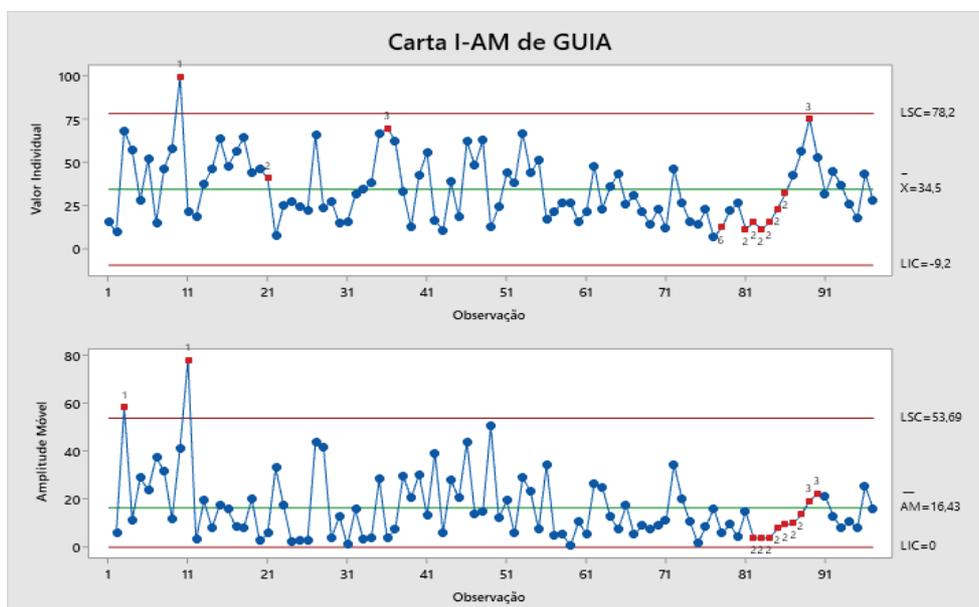
Fonte: Autor (2020)

4.4 Resultados das Cartas de Controle

Para a execução dos Gráficos de Controle, é necessário avaliar o tipo de dados que será utilizado. Neste caso, todos os componentes estudados possuem aferições em dados individuais, ou seja, a amostra é composta por somente uma referência numérica. Desta maneira, no MiniTab deve ser utilizado o Gráfico de Dados Individuais e o Gráfico de Amplitude Móvel.

Para o componente guia, o Gráfico de Controle pertinente à média dos dados individuais apresentou a disposição dos pontos conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Carta de Controle Guia

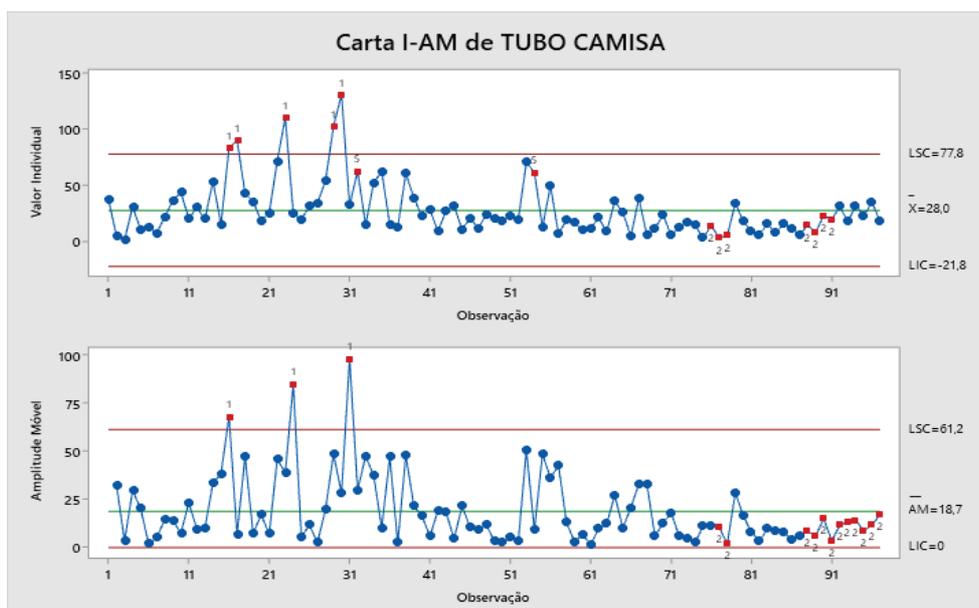


Fonte: Autor (2020)

Diante destes dados, é possível evidenciar um ponto fora do limite superior de controle do gráfico da carta I-AM, ou seja, acima de três desvios padrão. Este ponto indica um caso especial levando em consideração o gráfico todo.

Este mesmo comportamento é evidenciado no gráfico da carta I-AM do componente êmbolo, conforme Figura 13.

Figura 14 - Carta de Controle Tubo Camisa



Fonte: Autor (2020)

Identifica-se que parte superior da carta apresenta cinco pontos fora do limite superior de controle, que compreende três desvios padrões. Afirma-se que apenas um destes pontos se refere à um valor acima de 111 mg/m^2 , correspondente ao valor coletado de 130,56. Os demais indicam causas especiais, assim como nos componentes êmbolo e guia, principalmente causados por um ajuste do equipamento e/ou adequação mesmo do sistema de descontaminação, como por exemplo, o tempo de ciclo para lavagem de tubo camisa.

Observa-se ao longo do gráfico que os pontos mantêm uma distribuição constante, variando sobre a linha da média. Isso foi garantido, pois elevou-se o tempo de ciclo para o componente.

Nas cartas de controle dos três componentes, evidencia-se anormalidades no processo dentro do período analisado. Isto indica que o processo sofre com inúmeras variações, seja pela própria operação ou até mesmo pelo desgaste do meio de lavagem, ou seja, variações nas concentrações dos produtos de descontaminação, entre outras propriedades.

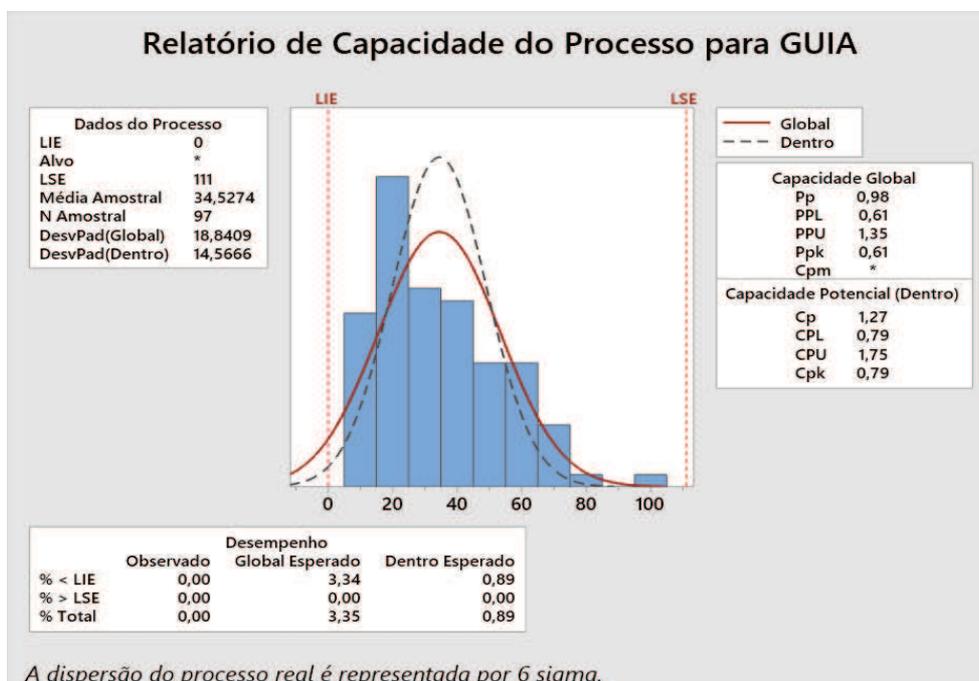
Contudo, o processo possui condições de estar sob controle estatístico, tendendo a oscilar para mais ou para menos, sem haver uma tendência totalmente definida e mantendo o estudo por um maior período.

4.5 Resultados da Capabilidade de Processo

Aplicando os mesmos dados do Quadro 3, de maneira individual, obtemos os gráficos pertinentes à Capabilidade do processo para os três componentes analisados.

Para o componente Guia, evidenciado na Figura 15, identifica-se que o processo está deslocado para o lado do Limite Inferior Especificado “0”. Significa a maioria dos dados estão alocados dentro do valor tolerado, justificando os resultados positivos.

Figura 15 - Capabilidade Guia

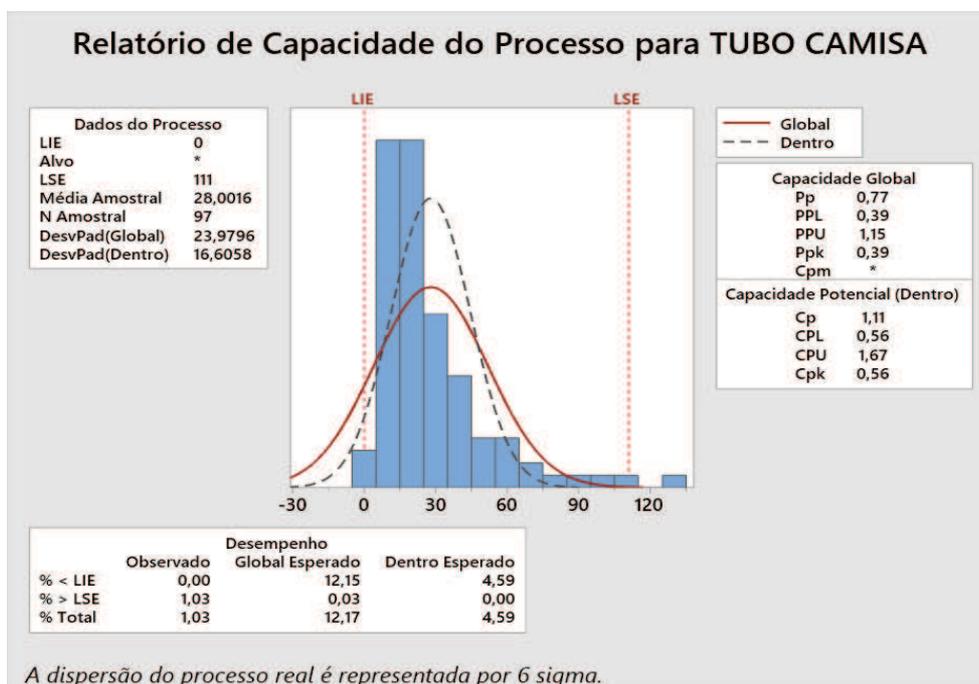


Fonte: Autor (2020)

Neste caso, considera-se esse processo como “Amarelo”, pois o valor do índice Cp está dentro da faixa $1,00 \leq 1,27 \leq 1,33$. Observa-se que o índice Cpk foi relativamente baixo, o que explica o deslocamento da distribuição dos dados. Adota-se o menor valor (0,79) pois é este que define o lado perante à média, em que os dados estão presentes, ou seja, $CpL = 0$ a 34,52.

A mesma situação, evidencia-se para o componente Tubo Camisa, demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Capabilidade Tubo Camisa



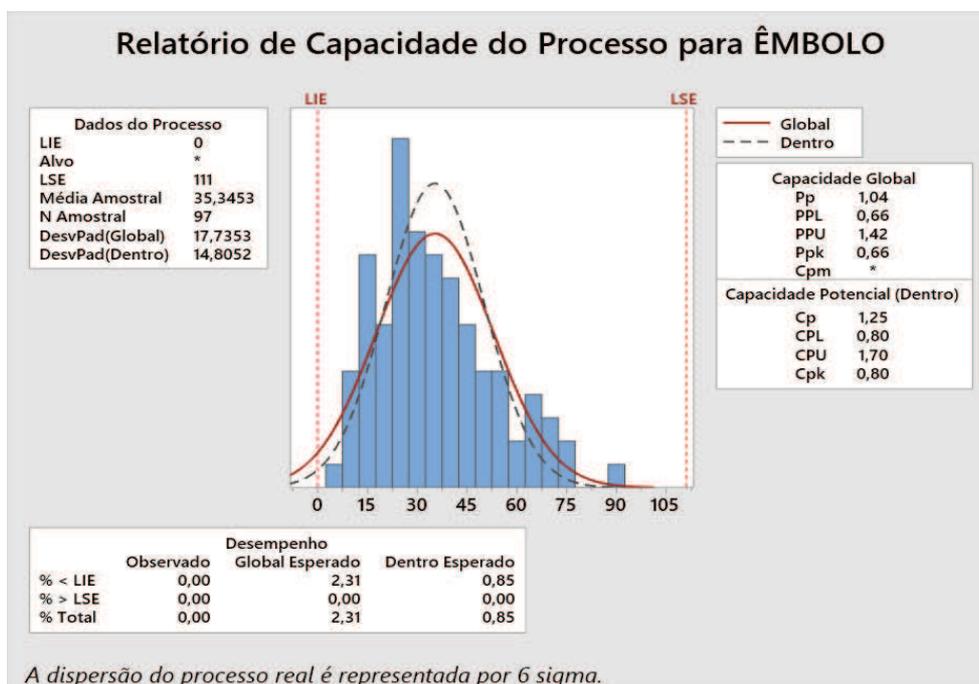
Fonte: Autor (2020)

Considera-se esse processo também como “Amarelo”, pois o valor do índice Cp está dentro da faixa $1,00 \leq 1,11 \leq 1,33$. No gráfico, observou-se que existe uma coleta fora do LSE. Esta coleta refere-se ao resultado de 130,56 mg/m². Evidencia-se também que o índice Cpk foi relativamente mais baixo, o que explica o maior deslocamento e aglomeração da distribuição dos dados. Por resultado, o menor valor de Cpk é 0,56 pois é onde os dados ficam agrupados, no lado esquerdo perante à média, ou seja, $CpL = 0$ a 28,00.

Neste caso, pode ser dizer que o processo possui problemas no âmbito de entregar peças conformes, durante o período analisado.

Por fim, no componente Êmbolo, assim como nos outros componentes, o processo é definido como “Amarelo”, ou seja, é um processo capaz, porém exige controle e constante avaliação, para garantir a uniformidade e a confiabilidade em entregar produtos conformes, conforme Figura 17.

Figura 17 - Capabilidade Êmbolo



Fonte: Autor (2020)

Neste caso, o valor de Cp é 1,25 e está dentro da faixa $1,00 \leq 1,25 \leq 1,33$. Observa-se um valor mais consideravelmente maior do Cpk perante todos os componentes analisados.

4.6 Possibilidades de Melhorias

A fim de melhorar o processo de descontaminação, primeiramente é necessário garantir resultados mais próximos e com menor variação perante os limites de controle e as médias. Por se tratar de um processo que envolva mão de obra manual e automatizada em proporções desiguais, há um limite na implementação de melhorias.

Diante deste conhecimento do processo em questão, pode ser recomendado as seguintes melhorias:

a) Utilização e troca frequente dos Equipamentos de Proteção Individual do operador responsável, como por exemplo, troca frequente e diária de luvas, bem como o uso de luvas nitrílicas e/ou de material compatível, resistente e esterilizado, que garante confiabilidade no manuseio das peças. De cunho mais exigente, pode-se sugerir a utilização de avental do tipo cirúrgico sobre o uniforme do operador e touca, evitando assim o desprendimento de fiapos de roupa e de cabelo sobre a peça em manuseio;

- b) Todas as peças são secas com ar comprimido após a lavagem, portanto, pode-se sugerir a troca mais frequente do filtro do compressor ou a implantação de uma linha específica de ar comprimido, garantindo que este seja limpo e puro, sem partículas;
- c) Controlar o ambiente de lavagem, por meio do isolamento completo do equipamento que executa o procedimento de lavagem. Isto pode ser feito isolando o local e/ou definindo um fluxo com tempo de ciclo, evitando a exposição das peças por longo tempo ao ambiente antes e prioritariamente após a lavagem;
- d) Criar um planejamento e um procedimento adequado que envolva a limpeza e descontaminação das caixas onde as peças são alocadas após a lavagem, até a posterior montagem;
- e) Aumento da frequência de análises gravimétricas de semanais para duas a três vezes na semana do processo de lavagem, assim, consegue-se obter maior estabilidade entre os dados tidos como resultados.

5 CONCLUSÃO

5.1 Conclusões do Trabalho

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia e da modernização das indústrias, o mercado passou a exigir produtos com maior qualidade e com maior confiabilidade, aliando juntamente a robustez e a eficiência. A qualidade deve ser garantida em todos os processos pelos quais um produto percorre. Muito utilizado por empresas de diversos ramos, as ferramentas da qualidade têm um papel fundamental nesse quesito de garantir a qualidade.

No estudo do processo de limpeza e descontaminação dos componentes de montagem dos cilindros, buscou-se aliar o controle estatístico e a análise de Capabilidade do processo tido como objeto de avaliação, que engloba os componentes críticos de montagem do produto final.

Tendo por base os conhecimentos obtidos pela revisão bibliográfica, foi possível entender como a qualidade é evidenciada e como a melhoria dela traz contribuições para a empresa. Além disso, a revisão das literaturas conferiu e garantiu grau conhecimento nas ferramentas da qualidade, em específico, dos gráficos de controle, utilizados no presente estudo.

Com a coleta dos dados, verificou-se a que o processo de descontaminação de todos os componentes entrega por sua vez, resultados dentro da especificação, possuindo pontos de coleta pontuais fora desse limite estipulado. Aplicando esses dados nas cartas de controle verificou-se que o processo para os três componentes, não se mantém sob controle estatístico ao longo de todo o período estudado.

Vale ressaltar que o período de estudo é demasiado longo, desde a padronização e implementação geral do processo em Março de 2018. Foram identificadas causas especiais em todos os componentes e comportamentos dos gráficos de controle instáveis no início e ao longo foi obtendo pequenas variações.

Com os dados pertinentes à capabilidade de processo para os três componentes estudados, podemos dizer que todos possuem Índice Cp dentro da classificação “Amarelo”, conferindo o mérito de processo capaz, porém, que necessita acompanhamento e

verificação crítica. Além disso, os índices de Cpk, para estes casos, remetem que o processo não é centrado, ou seja, os dados obtidos estão deslocados do centro da média.

Com a ciência das informações dispostas acima, é possível concluir que o objetivo geral deste estudo foi atendido, onde foi possível definir que o processo, de modo geral, é capaz de entregar produtos de qualidade assegurada pelo atendimento do limite de especificação, satisfazendo clientes e parceiros focados na melhoria contínua da qualidade dos produtos produzidos na empresa analisada.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Melhorias para o processo foram propostas, porém não aplicadas, devido ao período definido de estudo. Para trabalhos futuros, recomenda-se aplicar as melhorias individualmente e analisá-las em um período mais enxuto. Com estes resultados, pode-se repetir o estudo com período extenso e avaliar o resultado final, seguindo o procedimento adotado neste trabalho.

Além disso, é possível analisar o processo com auxílio de outras ferramentas da qualidade e/ou aumentando o tamanho da amostra, obtendo-se uma variação mais precisa entre as médias das amostras coletadas do processo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA. (2015). VDA 19.1: Gestão da Qualidade na Indústria Automotiva - Inspeção de Limpeza Técnica: Contaminação de partículas de componentes automotivos funcionalmente relevantes.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 9. ed. Nova Lima: Falconi, 2014. 286 p.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016. 247 p.

LOZADA, Gisele. Controle estatístico de processos. Porto Alegre: Sagah, 2017. Revisão Técnica: Henrique Martins Rocha. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595021174/cfi/1!/4/4@0.00:54.4>>. Acesso em: 20 out. 2019.

MONTGOMERY, Douglas C.. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 549 p.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da Qualidade: Teoria e Prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 302 p.

RAMOS, Edson Marcos Leal Soares; ALMEIDA, Silvia dos Santos de; ARAÚJO, Adrilayne dos Reis. Controle estatístico da qualidade. Porto Alegre: Bookman, 2013. 160 p. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837453/cfi/168!/4/4@0.00:0.0>>. Acesso em: 15 out. 2019.

SOUZA, Stefania Márcia de Oliveira. Gestão da Qualidade e Produtividade. Porto Alegre: Sagah, 2018. Disponível em:
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025561/cfi/1!/4/4@0.00:58.5>>.
Acesso em: 22 ago. 2019.

APÊNDICE A

Tabela 1 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico do Desvio Padrão

Gráfico do desvio padrão						
<i>n</i>	Fatores para os limites de controle				Fatores para linha central	
	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>c</i> _{<i>n</i>}	1/ <i>c</i> _{<i>n</i>}
2	0	3,267	0	2,606	0,798	1,253
3	0	2,568	0	2,276	0,886	1,128
4	0	2,266	0	2,088	0,921	1,085
5	0	2,089	0	1,964	0,940	1,064
6	0,030	1,970	0,029	1,874	0,915	1,051
7	0,118	1,882	0,113	1,806	0,959	1,042
8	0,185	1,815	0,179	1,751	0,965	1,036
9	0,239	1,761	0,232	1,707	0,969	1,032
10	0,284	1,716	0,276	1,669	0,973	1,028
11	0,321	1,679	0,313	1,637	0,975	1,025
12	0,354	1,646	0,346	1,610	0,978	1,023
13	0,382	1,618	0,374	1,585	0,979	1,021
14	0,406	1,594	0,399	1,563	0,981	1,019
15	0,428	1,572	0,421	1,544	0,982	1,018
16	0,448	1,552	0,44	1,526	0,984	1,017
17	0,466	1,534	0,458	1,511	0,985	1,016
18	0,482	1,518	0,475	1,496	0,985	1,015
19	0,497	1,503	0,49	1,483	0,986	1,014
20	0,51	1,490	0,54	1,470	0,987	1,013
21	0,523	1,477	0,516	1,459	0,988	1,013
22	0,534	1,466	0,528	1,448	0,988	1,012
23	0,545	1,455	0,539	1,438	0,989	1,011
24	0,555	1,445	0,549	1,429	0,989	1,011
25	0,565	1,435	0,559	1,420	0,990	1,011

Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 138

APÊNDICE B

Tabela 2 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico das Amplitudes

<i>n</i>	Gráfico da variância		Gráfico das amplitudes						
	Fatores para os limites de controle		Fatores para linha central			Fatores para os limites de controle			
	B_7	B_8	d_2	$1/d_2$	\bar{d}_2	d_3	\bar{d}_3	D_3	D_4
2	0	5,243	1,128	0,886	0,954	0,853	0,450	0	3,267
3	0	4,000	1,693	0,591	1,588	0,888	0,435	0	2,575
4	0	3,449	2,059	0,486	1,978	0,880	0,445	0	2,282
5	0	3,121	2,326	0,430	2,257	0,864	0,457	0	2,115
6	0	2,897	2,534	0,395	2,472	0,848	0,468	0	2,004
7	0	2,732	2,704	0,370	2,645	0,833	0,477	0,076	1,924
8	0	2,604	2,847	0,351	2,791	0,820	0,487	0,136	1,864
9	0	2,500	2,970	0,337	2,915	0,808	0,495	0,184	1,816
10	0	2,414	3,078	0,325	3,024	0,797	0,503	0,223	1,777
11	0	2,342	3,173	0,315	3,121	0,787	0,509	0,256	1,744
12	0	2,279	3,258	0,307	3,207	0,778	0,515	0,283	1,717
13	0	2,225	3,336	0,300	3,285	0,770	0,521	0,307	1,693
14	0	2,177	3,407	0,294	3,356	0,763	0,527	0,328	1,672
15	0	2,134	3,472	0,288	3,422	0,756	0,532	0,347	1,653
16	0	2,095	3,532	0,283	3,382	0,750	-	0,363	1,637
17	0	2,061	3,588	0,279	3,538	0,744	-	0,378	1,622
18	0	2,029	3,640	0,275	3,591	0,739	-	0,391	1,609
19	0	2,000	3,689	0,271	3,640	0,733	-	0,404	1,596
20	0,027	1,973	3,735	0,268	3,686	0,729	-	0,415	1,585
21	0,051	1,949	3,778	0,265	-	0,724	-	0,425	1,575
22	0,074	1,926	3,819	0,262	-	0,720	-	0,435	1,565
23	0,095	1,905	3,858	0,259	-	0,716	-	0,443	1,557
24	0,115	1,885	3,895	0,257	-	0,712	-	0,452	1,548
25	0,134	1,866	3,931	0,254	-	0,708	-	0,459	1,541

Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 139

APÊNDICE C

Tabela 3 - Fatores para construção dos Limites de Controle do Gráfico das Médias

<i>n</i>	Gráfico da média			Gráfico da mediana		
	Fatores para os limites de controle			Fatores para os limites de controle		
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>h</i> _{<i>n</i>}	<i>H</i> ₃	<i>H</i> ₄
2	2,121	1,880	2,659	0,886	4,176	2,954
3	1,732	1,023	1,954	0,724	3,070	1,607
4	1,500	0,729	1,628	0,627	2,557	1,144
5	1,342	0,577	1,427	0,560	2,242	0,906
6	1,225	0,483	1,287	0,512	2,022	0,759
7	1,339	0,419	1,182	0,474	1,856	0,659
8	1,061	0,373	1,099	0,443	1,727	0,585
9	1,000	0,337	1,032	0,418	1,621	0,529
10	0,949	0,308	0,975	0,396	1,532	0,484
11	0,905	0,285	0,927	0,378	1,457	0,448
12	0,866	0,266	0,886	0,362	1,392	0,418
13	0,832	0,249	0,850	0,348	1,334	0,392
14	0,802	0,235	0,817	0,335	1,284	0,370
15	0,775	0,223	0,789	0,324	1,239	0,350
16	0,750	0,212	0,763	0,313	1,198	0,334
17	0,728	0,203	0,739	0,304	1,161	0,319
18	0,707	0,194	0,718	0,295	1,127	0,305
19	0,688	0,187	0,698	0,288	1,096	0,293
20	0,671	0,180	0,680	0,280	1,068	0,282
21	0,655	0,173	0,663	0,273	1,041	0,272
22	0,640	0,167	0,647	0,267	1,017	0,263
23	0,626	0,162	0,633	0,261	0,994	0,255
24	0,612	0,157	0,619	0,256	0,972	0,247
25	0,600	0,153	0,606	0,251	0,952	0,240

Fonte: Ramos, Almeida e Araújo (2013), p. 140