

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOÃO GABRIEL FURLAN RENAL

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
PERFIS DE ALUMÍNIO: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Medianeira
2016

JOÃO GABRIEL FURLAN RENAL

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE
PERFIS DE ALUMÍNIO: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador(a): Prof. Dr. José Airton A. dos Santos

Co-Orientador: Prof.(a). Dr(a). Carla A. P. Schmidt

Medianeira

2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
CAMPUS MEDIANEIRA

Diretoria de Graduação
Nome da Coordenação de Engenharia de Produção
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PERFIS DE ALUMÍNIO: UM ESTUDO DE CASO

Por

JOÃO GABRIEL FURLAN RENAL

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 09:10hrs do dia 24 de novembro de 2016 como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC2, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o projeto para realização de trabalho de diplomação aprovado.

Prof. Dr. José Airton dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof(a). Dr(a). Carla. A. P. Schmidt
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof. Me. Cidmar Ortiz dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Prof. Ma. Liliane C. R. de Andrade
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

" Se o desejo de alcançar a meta estiver vigorosamente vivo dentro de nós, não nos faltarão forças para encontrar o meio para alcançar o fim. "

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me dar forças ao longo de minha caminhada.

Ao meu orientador e co-orientadora José Airton dos Santos e Carla. A. P. Schmidt pelos ensinamentos, dedicação e por acreditar naquilo que sou capaz.

Aos professores de Engenharia de Produção da UTFPR Medianeira, pelos conhecimentos repassados e que tive a oportunidade de conviver.

Aos meus pais, Maria Emília e Pedro José por sempre acreditarem em mim e pela paciência em me acalmar e me ver feliz.

A minha avó Adélia, pela preocupação, amor e carinho.

Aos amigos e colegas da UTFPR Medianeira, pela confiança e auxílio.

RESUMO

RENAL, João Gabriel F. **Análise da capacidade do processo de produção de perfis de alumínio: um estudo de caso.** 2016. 44 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

A procura por produtos e serviços de qualidade tornou-se um dos fatores mais exigentes dos consumidores. Consequentemente, para conquistar clientes, as empresas começaram a se adaptar e melhorar cada vez mais seus produtos e processos. Dentro deste contexto, este trabalho tem por objetivo aplicar técnicas de Controle Estatístico de Processos na análise do processo de fabricação de perfis de alumínio em uma indústria localizada na região oeste paranaense. Verificou-se, por meio dos gráficos de controle, que o processo de produção não apresenta causas especiais. Observou-se, por meio do cálculo dos índices de capacidade para três lotes, uma disparidade nos resultados ($C_{pk}^*=1.134$, $C_{pk}^*=1.559$ e $C_{pk}^*=0.2740$). Por onde se concluiu que a empresa necessita realizar uma análise mais aprofundada do seu processo de fabricação.

Palavras-chave: Qualidade. Capacidade do processo. Gráfico de controle. Engenharia de produção.

ABSTRACT

RENAL, João Gabriel F. **Analysis of the capacity of the aluminum profile production process: a case study.** 2016. 44 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

The pursuit for quality products and services has become one of the most demanding factors for consumers. Consequently, to conquer customers, companies have begun to adapt and improve their products and processes. In this context, this work aims to apply Statistical Process Control techniques in the analysis of the aluminum profile manufacturing process in an industry located in the western of Paraná. It was verified, through the control graphics, that the production process has no special causes. It was observed, by the calculation of the capacity indices for three batches, a disparity in the results ($C_{pk}^*=1.134$, $C_{pk}^*=1.559$ e $C_{pk}^*=0.2740$). It was concluded that the company needs to execute a more detailed analysis of its manufacturing process

Word Keys: Quality. Process capability. Control chart. Production engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura básica de um diagrama de causa e efeito	16
Figura 2: Gráfico de Pareto: frequência de problemas em serviço de distribuições entrega	18
Figura 3: Fluxograma	19
Figura 4: Exemplo de Histograma	20
Figura 5: Gráfico de Controle	21
Figura 6: Perfis de alumínio similar ao utilizado na indústria estudada	23
Figura 7: Exemplo de tarugos	24
Figura 8: Fluxograma do processo	24
Figura 9: Software stastica	26
Figura 10: Gráfico de Controle	27
Figura 11: Fórmulas das Cartas de Controle por Variáveis.....	28
Figura 12: Exemplo de Variação de Causas Comuns e Causas Especiais	31
Figura 13: <i>Boxplots</i>	34
Figura 14: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 1	35
Figura 15: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 2	35
Figura 16: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 3	36
Figura 17: Gráfico de controle individual \bar{X}_i e da amplitude móvel MR – Lote 1.....	37
Figura 18: Gráfico de controle individual \bar{X}_i e da amplitude móvel MR – Lote 2.....	37
Figura 19: Gráfico de controle individual \bar{X}_i e da amplitude móvel MR – Lote 3.....	38
Figura 20: Histograma e Índice de Capacidade C^*_{pk} – Lote 1	39
Figura 21: Histograma e Índice de Capacidade C^*_{pk} – Lote 2	39
Figura 22: Histograma e Índice de Capacidade C^*_{pk} – Lote 3.....	40
Quadro 1: Folha de verificação para a classificação de defeitos.....	17
Quadro 2: Índice de capacidade do processo.....	35

LISTA DE SIGLAS

CEP	Controle Estatístico de Processo
IQA	Instituto da Qualidade Automotiva
LC	Linha Central
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 ALUMÍNIO	13
3.2 QUALIDADE.....	14
3.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO – CEP.....	15
3.3.1 Ferramentas do CEP	15
4.3.1.1 Diagrama de causa e efeito	16
4.3.1.2 Folha de verificação.....	17
4.3.1.3 Gráfico de pareto	17
4.3.1.4 Fluxograma.....	18
4.3.1.5 Histograma	20
4.3.1.6 Gráfico de controle	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 METODOLOGIA.....	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	22
4.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	23
4.4 COLETA DE DADOS	25
4.5 O SOFTWARE STATISTICA.....	25
4.6 GRÁFICOS DE CONTROLE	26
4.7 AMOSTRAGEM	28
4.8 VARIABILIDADE DO PROCESSO.....	29
4.8.1 Causas Comuns.....	29
4.8.2 Causas Especiais	30
4.9 CAPACIDADE DO PROCESSO	31
4.9.1 Índice de Capacidade Do Processo	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a procura por produtos e serviços de qualidade, tornou-se um dos fatores mais importantes na seleção dos consumidores. Assim, as indústrias necessitaram aprimorar e ter controle sobre a qualidade das características de seus produtos, a fim de conquistar e satisfazer as necessidades de seus clientes.

Segundo Juran (1991), qualidade pode ser definida como produtos que não apresentam defeitos. Já Campos (1992), define qualidade como produtos que atendem as necessidades dos clientes, realizando ações que cumpram suas características e especificações.

Para Pires (2000), pode-se relacionar o Controle Estatístico de Processo (CEP) como uma ferramenta de monitoramento da qualidade dentro da empresa. Seu apoio caracteriza-se pela verificação, por amostragem, da quantidade de um produto em estudo e de seu processo. O CEP detecta problemas com causas especiais e irregularidades presentes no processo, que podem ser prejudiciais a qualidade do produto final.

A variabilidade indesejada é a grande inimiga da qualidade. Ela está presente em todo o processo produtivo, não podendo ser eliminada totalmente, somente mitigada. Portanto, a diminuição da variabilidade torna-se um indicador efetivo da qualidade do processo produtivo e do produto fabricado (MONTGOMERY, 2004).

Deste modo, a utilização do CEP pode garantir que não haja variabilidade nos produtos finais. Permitindo assim a melhora na performance da linha de produção, já que os problemas identificados no processo geram tomadas de decisão que possibilitam eliminar os problemas que interferem na variabilidade do processo.

2 OBJETIVOS

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, na empresa em estudo, serão necessários cumprir os seguintes objetivos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo aplicar técnicas de Controle Estatístico de Processos na análise do processo de fabricação de perfis de alumínio em uma indústria localizada na região oeste paranaense.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Construir um fluxograma do processo de produção de perfis de alumínio;
- b) Realizar medições, *in loco*, dos pesos dos perfis de alumínio;
- c) Construir gráficos de controle;
- d) Analisar a capacidade do sistema.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados alguns fundamentos básicos relacionados a qualidade, controle estatístico de processo (CEP) e as principais ferramentas da qualidade de apoio ao CEP.

3.1 ALUMÍNIO

Segundo Abal (2006), apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, o alumínio representa o metal mais jovem utilizado em grande escala industrial. Em comparação a outros metais não ferrosos, a produção do alumínio apresenta um crescimento bastante superior, o que mostra a importância deste metal na sociedade. Para as civilizações mais antigas, podemos identificar o uso do metal nos diferentes artefatos, dando um ar de modernidade e sofisticação.

O alumínio apresenta um custo superior comparado a madeira e ferro por exemplo, mas sua resistência é melhor em condições naturais, aplicação considerável fácil, dispensa lixamento e pintura e apresenta algumas características atraentes como diferentes tamanhos e limpeza prática o que gera uma economia. Em relação a produção de perfis de alumínio, comparado ao Estados Unidos e Europa, o Brasil já tem produzidos quantidades igualmente comparadas a esses países (FLEXEVENTOS, 2006).

Segundo Abal (2006), o Brasil possui a terceira maior reserva de minério do mundo, localizado na floresta amazônica, perdendo apenas para a Austrália e Guiné. Entretanto, os maiores produtores mundiais de alumínio são os Estados Unidos e o Canadá, ainda que nenhum desses dois países possua jazida de bauxita em seu território, sendo obrigados a recorrer as importações.

As propriedades do alumínio fazem deste metal um grande substituto dos diferentes materiais utilizados em projetos e serviços diversos. Pela sua facilidade, o alumínio é utilizado na fabricação e comercialização de peças e produtos em geral. Algumas vantagens do alumínio são destacadas pelas propriedades mecânicas e elétricas e por poder ser processados pelos seguintes métodos: fundição,

forjamento, trefilação, laminação, extrusão e soldagem (ABAL, 2006).

3.2 QUALIDADE

Qualidade é um ponto essencial para economia de um país, é a chave para o surgimento de diferentes produtos e serviços. O avanço da ciência e da tecnologia contribuiu, para as empresas e consumidores, para obter produtos melhores e de qualidade. Fazendo com que o objetivo principal seja garantir aos clientes produtos a custos mais econômicos. Sendo então produtos acompanhados desde o projeto até a fabricação (MADRAS, 1990).

Segundo Chaves (1997), para se manter na concorrência, as diferentes empresas, no mercado competitivo de produtos e serviços, utilizam a qualidade como um dos principais segmentos para se manter no mercado e fornecer em termos de qualidade, produtos que possam ser analisados, entendidos, elaborados e construídos de maneira que seus custos possibilitem a satisfação de seus consumidores.

Para Madras (1990), a palavra qualidade pode ter dois significados distintos: qualidade do projeto e qualidade da conformidade. Destaca-se qualidade do projeto às diferenças nas especificações dos produtos de mesmo uso, referindo-se ao método de fabricação, as etapas do processo, aos materiais usados na fabricação, aos fatores de segurança, entre outros. Sobre a qualidade da conformidade que está relacionada aos procedimentos de controle da qualidade, destaca-se a agilidade de conseguir manter a qualidade especificada nos projetos. As ferramentas de controle da qualidade contribuem para melhoria da qualidade de projetos, produtos e problemas relacionados ao processo produtivo.

Segundo Miguel (2006), as ferramentas da qualidade apresentam grande estímulo quando bem utilizadas na descoberta de problemas relacionados as primeiras etapas do processo ou à análise para tomada de decisão para problemas presentes que contribuem para anomalias em relação a qualidade dos produtos.

3.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO – CEP

A função básica do Controle Estatístico de Processo é a padronização do processo produtivo a fim de evitar a variabilidade do produto. Essa variabilidade pode ser caracterizada como oscilações nas especificações finais dos produtos, o que compromete a qualidade e o sucesso do fluxo produtivo (GONÇALVES, 2011).

Para muitos, o CEP surgiu na década de 1920 através do trabalho de Walter A. Shewhart, no estudo da aleatoriedade dos processos industriais. Shewhart desenvolveu um procedimento capaz de definir se a variabilidade presente no fluxo produtivo era apenas aleatória ou sofria de interferências especiais. Para Davis (2001), foi Shewhart que produziu os métodos de controle estatístico atual.

Para Reis (2001), as ferramentas de controle estatístico são capazes de detectar possíveis problemas relacionados aos processos, riscos e falhas e apontar soluções, através das ferramentas do CEP, para obter resultados satisfatórios. A variabilidade do processo é algo aceitável, uma vez que dois produtos se tornam muito difíceis de serem iguais, se a variabilidade é pequena os impactos no produto se tornam nulos, caso contrário o processo produtivo se torna inaceitável.

Segundo Montgomery (2004), as ferramentas do CEP têm como objetivo analisar e detectar qualquer tipo de anomalias no processo produtivo, quando bem aplicadas, podem identificar as causas de sua variabilidade e procurar soluções cabíveis para a correção, antes que outras unidades sejam produzidas.

3.3.1 Ferramentas do CEP

As principais ferramentas da qualidade de apoio ao CEP são:

- a) Diagrama de Causa e Efeito;
- b) Folha de Verificação;
- c) Gráfico de Pareto;
- d) Fluxograma;
- e) Histograma;
- f) Gráfico de Controle.

4.3.1.1 Diagrama de causa e efeito

Segundo Montgomery (2004), quando bem aplicado o diagrama de causa e efeito, é possível identificar as causas, encontrar respostas e resolver os problemas existentes. Para ele, o diagrama de causa e efeito, também conhecido como Ishikawa ou espinha de peixe, é uma ferramenta fundamental na aplicação do CEP.

O diagrama de causa e efeito é elaborado para identificar as várias causas que levam a um determinado problema, foi desenvolvido para ilustrar as relações entre o efeito ou problema de um processo que se encontram indesejáveis e suas possíveis causas, servindo como um guia para encontrar a causa fundamental e determinar as medidas corretivas cabíveis que deverão ser executadas (CARPINETTI, 2012).

No diagrama de causa e efeito, sua construção se inicia pelo problema, em seguida as causas que interferem no processo, conhecidas como 6M's são: Material, Mão de obra, Meio Ambiente, Máquina, Método, Medida e o Efeito, depois repassadas para o diagrama. A Figura 1 apresenta um modelo do diagrama de causa e efeito.

Pode-se denominar processos todas as categorias de causas do diagrama, eles se referem ao conjunto de situações que o processo está exposto como administração, política, governo, vendas, pessoal, entre outros (ISHIKAWA, 1993).

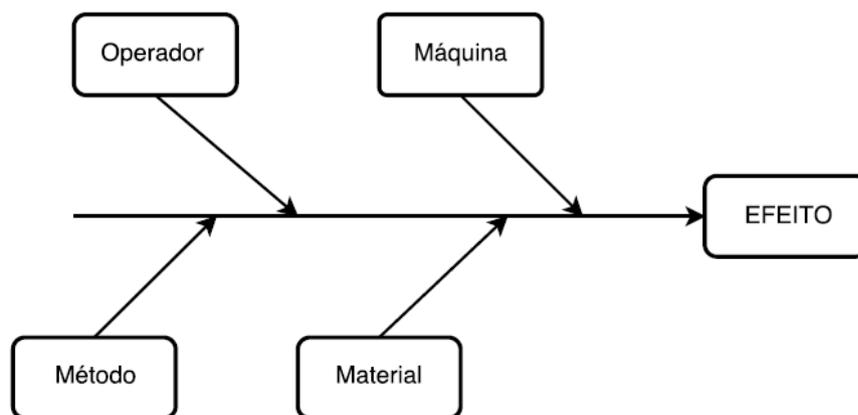


Figura 1 – Estrutura básica de um diagrama de causa e efeito
Autor: Adaptado Carpinetti, (2012).

4.3.1.2 Folha de verificação

De acordo com Vieira (1999), folha de verificação, também conhecida como folhas de controle, é uma ferramenta que através de formulários e planilhas específicas e bem planejadas, auxilia e facilita a coleta dos dados e registros considerados úteis para o processo a ser analisado.

A folha de verificação consiste de um formulário impresso preenchido com itens a serem examinados, assim possibilitando o planejamento e organização de dados futuros. Para Carpinetti (2012), podem ser elaborados inúmeros tipos de folha de verificação. Folha de verificação classifica os defeitos que são considerados mais importantes. O Quadro 1 apresenta um modelo de folha de verificação.

Segundo Montgomery (2004), esta ferramenta quando bem utilizada na coleta de dados e históricos do processo pode apresentar uma grande importância, depois de preenchida e analisada, seus resultados podem evitar futuros problemas.

Tipo	Rejeitados	Subtotal
Marcas	### ### ### ### ### //	32
Trincas	### //// //// //	23
Incompleto	### ### ### ### ### ### ### ### //	48
Distorção	////	4
Outros	### //	8
	Total Geral	115
Total rejeitados	### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### /	86

Quadro 1: Folha de verificação para a classificação de defeitos
Fonte: Adaptado Carpinetti, (2012).

4.3.1.3 Gráfico de pareto

O gráfico de pareto foi desenvolvido pelo sociólogo e italiano Vilfredo Pareto (1843-1923). Para Simões e Ribeiro (2007), é uma ferramenta que define e identifica os diferentes problemas presentes dentro de uma organização. São gráficos de barras verticais onde os dados, em ordem decrescentes, são

organizados de maneira a apresentar os problemas mais graves, que devem ser tratados com prioridade.

Segundo Montgomery (2004), o gráfico de Pareto é uma distribuição de frequência de dados, classificados por categoria. Por meio do gráfico o responsável pode identificar, de forma rápida, os tipos de defeitos que ocorrem com mais frequência.

A Figura 2 apresenta um exemplo de gráfico de Pareto mostrando a frequência de problemas que estão presentes em serviço de distribuição de entrega.

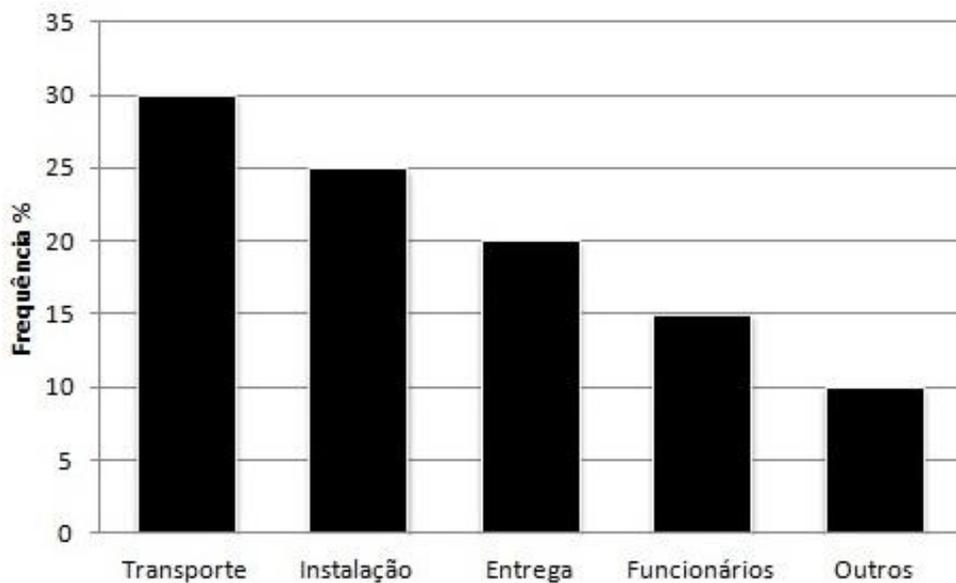


Figura 2: Gráfico de Pareto: frequência de problemas em serviço de distribuições entrega
 Fonte: Adaptado Carpinetti, (2012).

4.3.1.4 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta utilizada para representar todo o caminho de um processo, através de símbolos simples e objetivos é capaz de identificar de forma rápida todo o caminho do produto, do começo ao fim, assim possibilitando melhorias e eliminando passos desnecessários.

Segundo Lobo (2013), o fluxograma é um gráfico universal que representa através de símbolos a sequência de qualquer produto, trabalho ou documento. Ele ainda apresenta algumas vantagens:

- a) Permitir verificar a funcionalidade de todos os passos do sistema, contribuindo para análise de sua eficácia.
- b) Em comparação com outros métodos descritivos, seu entendimento é objetivo e simples.
- c) Facilidade de localização dos passos desnecessários pela fácil visualização.
- d) Permitti aplicação em qualquer tipo de sistema.
- e) Rápido entendimento das alterações que forem necessários propor para o sistema.

Na Figura 3, pode-se observar um exemplo simplificado de um fluxograma.

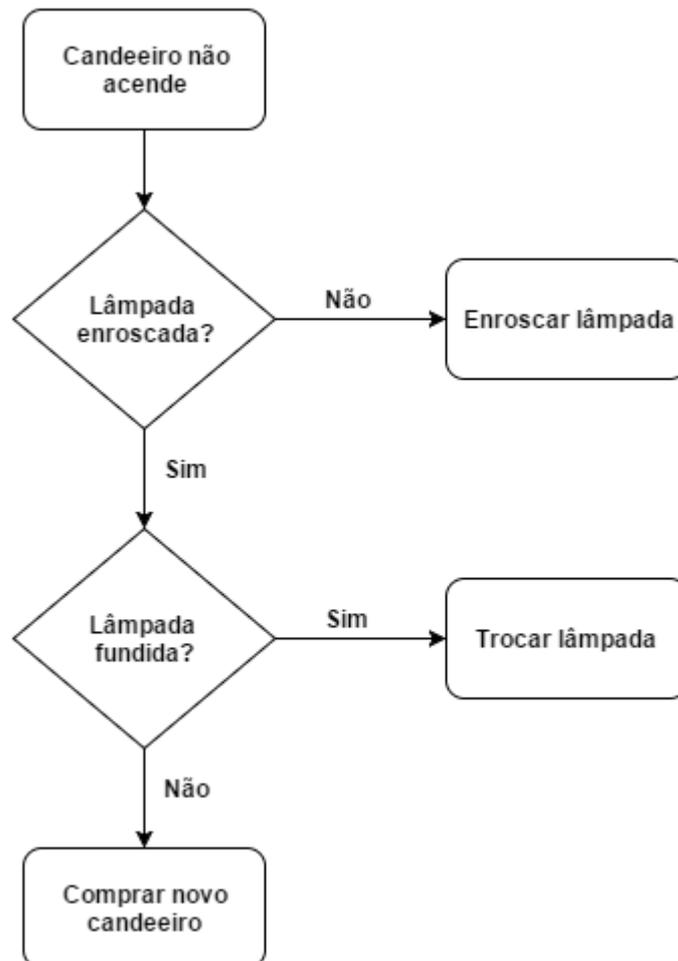


Figura 3: Fluxograma
Autor: Adaptado DP, (2015).

4.3.1.5 Histograma

Histograma é uma ferramenta que consiste de um gráfico de barras que apresenta a variação de um determinado conjunto de dados coletados e possibilita através das informações a visualização da variação de um processo (LOBO, 2013).

Segundo Carpinetti (2012), para se construir o histograma é necessário coletar dados que sejam superiores a 50, para poder obter um padrão representativo da distribuição, na sequência construir uma tabela de distribuição de frequência onde às colunas representam as classes do histograma. No eixo vertical do histograma localizam-se as frequências de ocorrência e no eixo horizontal os limites dos intervalos. Na Figura 3, apresenta-se um exemplo de histograma.

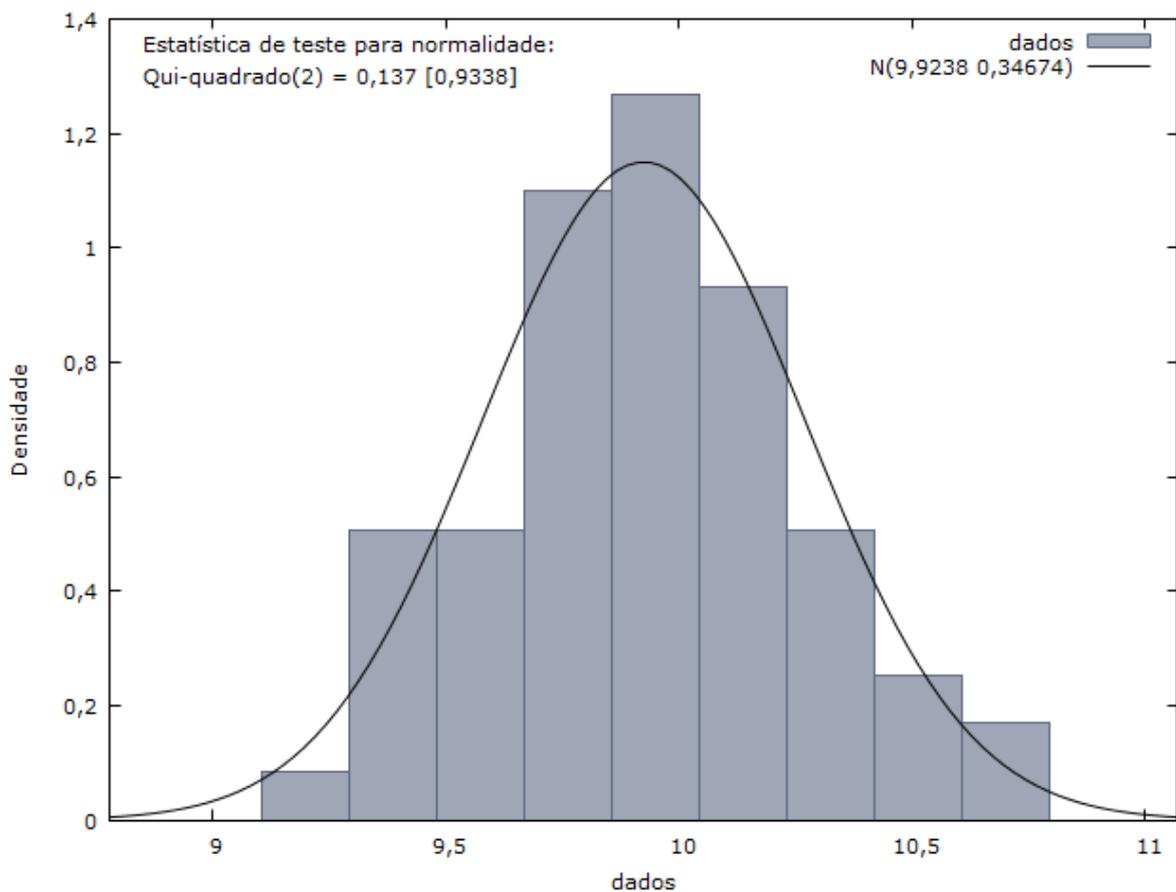


Figura 4: Exemplo de Histograma
Autor: Adaptado Carpinetti, (2012).

4.3.1.6 Gráfico de controle

Segundo Souza (2003), os gráficos de controle de Shewhart é uma ferramenta muito utilizada no CEP para verificar, através dos dados colhidos com o tempo, a variabilidade do processo. Posteriormente se houver variação, corrigir e melhorar a qualidade através de uma comparação gráfica do desempenho com os limites de controle de um processo.

O gráfico de Controle (Figura 4) é uma ferramenta gráfica que analisa a situação do processo. Quando os pontos do gráfico se encontram distribuídos aleatoriamente, entre o limite de controle inferior (LCI) e o limite de controle superior (LCS), denominam-se causas comuns ou aleatórias e representa que o processo está sob controle estatístico. Causas especiais ou assinaláveis, fora do controle estatístico, são quando os pontos passam os limites de controle do gráfico (REIS, 2001).

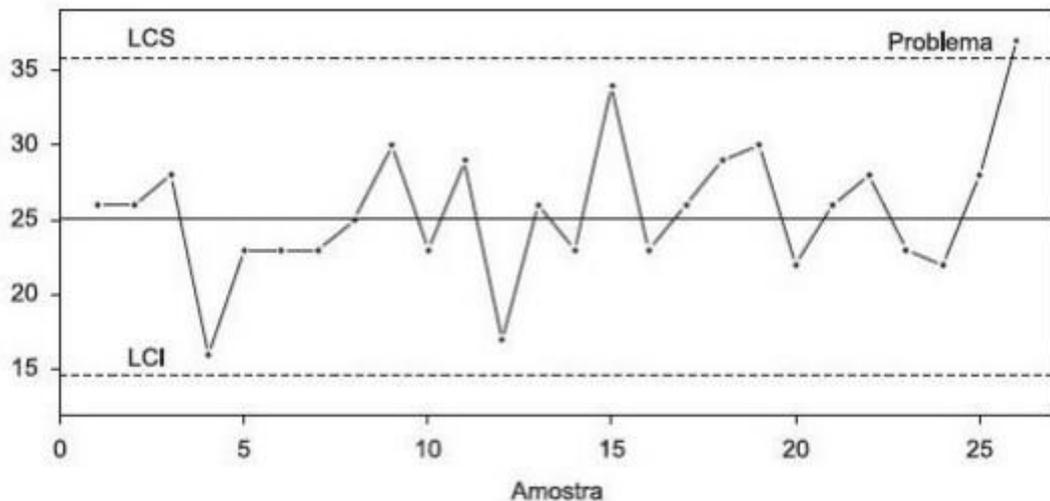


Figura 5: Gráfico de Controle
Autor: Vieira (1999, p.38).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 METODOLOGIA

Do ponto de vista dos objetivos, Gil (2009), classifica as pesquisas em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas. Esse estudo pode ser enquadrado como uma pesquisa descritiva, que de acordo com o autor, tem como alvo delinear a relação entre as variáveis.

Segundo Silva, (2010), a pesquisa pode ser classificada em quantitativa e qualitativa. Quantitativa quando se utilizam ferramentas estatísticas que traduzem os dados pesquisados em resultados, e considera-se que tudo pode ser contado e analisado. Já a qualitativa classifica como uma relação que envolve o ambiente real e o sujeito, que considera o ambiente real sendo a fonte de coleta de dados a ser analisado com raciocínio indutivo.

A pesquisa, realizada neste trabalho, pode ser classificada como uma pesquisa quantitativa por tratar-se de coleta e análise de dados e também por expressar os resultados utilizando as ferramentas do CEP.

Segundo Gil (2009), quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa realizada neste trabalho, pode também ser considerada pesquisa bibliográfica, documental, experimental e estudo de caso.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa escolhida para realizar a pesquisa está situada na região oeste do Paraná, onde tem como processo a extrusão e pintura de perfis de alumínio e atende construtoras, distribuidoras e indústrias de todo o Brasil. Seu parque industrial possui uma área de 10.000 m² onde oferece mais de 300 modelos de linha aberta e diversos tipos de linha exclusiva, com produtos destinados à fabricação de esquadrias de alumínio, ferragens, fachadas, entre outras opções que os perfis podem ser utilizados. Em seu interior abriga uma extrusora de sete

polegadas, cabines de pintura eletrostática automatizadas, ferramentas, laboratórios e demais setores e máquinas para a operação.

4.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de produção de perfis de alumínio (Figura 6) inicia com o recebimento de matéria prima, tarugos com 5 ou 9 peças (Figura 7). Após passar por uma inspeção visual, são empilhados ao lado de uma extrusora. Na sequência, os tarugos passam por processos de escovação, limpeza, aquecimento e cisalhamento.

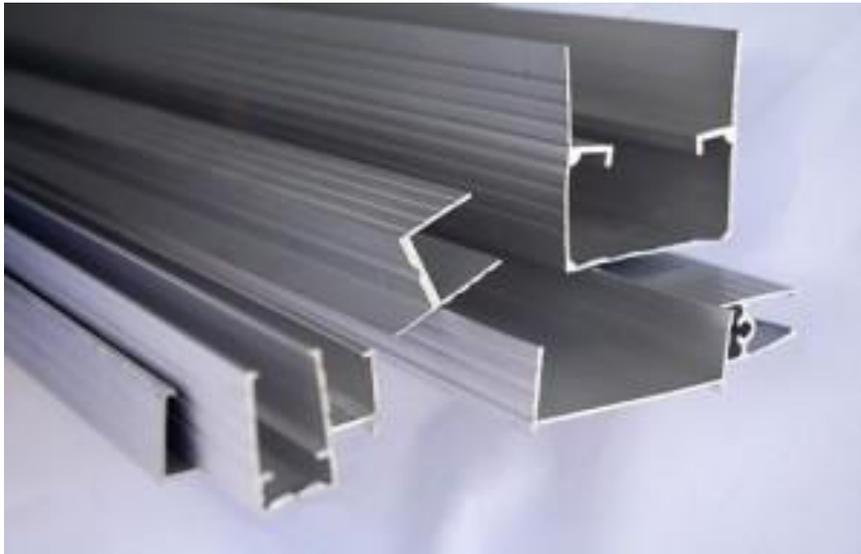


Figura 6: Perfis de alumínio similar ao utilizado na indústria estudada
Fonte: Vitrallux, 2016.

A etapa de extrusão, é um processo onde ocorre a deformação, do tarugo de metal, com o objetivo de formar um perfil linear. A extrusora opera na temperatura de 450°C e tem capacidade para 8 toneladas de alumínio por dia. Depois do processo de extrusão, para obter padronização no comprimento, os perfis são resfriados, esticados e cortados.

Na próxima etapa, os perfis passam por um processo de envelhecimento e tratamento térmico, a temperatura de 180°C, para obter maior resistência. Finalmente, são embalados por um filme plástico, pesados e enviados para o setor de estoque da empresa.



Figura 7: Exemplo de tarugos
Fonte: Lotusmetal, 2016.

A Figura 8 apresenta o fluxograma do processo de produção de perfis de alumínio.

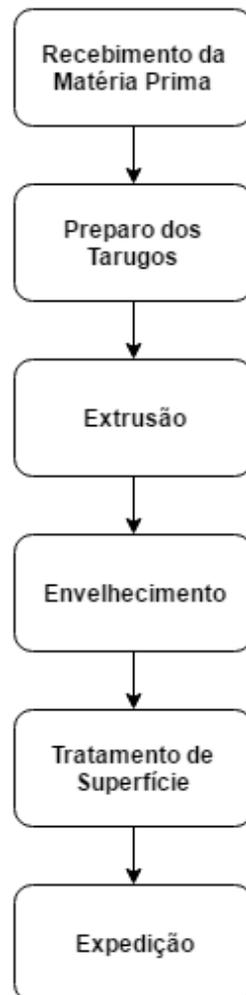


Figura 8: Fluxograma do processo
Fonte: Autoria Própria.

4.4 COLETA DE DADOS

A coleta de dados é um dos pontos mais importantes do estudo de capacidade de um processo, pois se os dados coletados não forem consistentes, o resultado também não será.

A coleta de dados e informações sobre o sistema estudado foi realizada através de medições de peso de embalagens de perfis de alumínio. As medições, realizadas na indústria, foram feitas durante quatro visitas na empresa.

a) Primeira Visita

Para iniciar o estudo, foi realizada a primeira visita, previamente agendada, e com acompanhamento do orientador deste trabalho, para coletar informações sobre a empresa e do processo produtivo de perfis de alumínio cru e pintado.

b) Segunda Visita

Após a escolha do processo produtivo de perfis de alumínio cru, realizou-se a segunda visita, onde foi feita a pesagem de 43 perfis de alumínio escolhidos aleatoriamente do lote produzido no dia 02/08/2016.

c) Terceira Visita

Na terceira visita, foi feita a pesagem de 56 perfis de alumínio escolhidos aleatoriamente do lote produzido no dia 16/08/2016.

d) Quarta Visita

Na quarta visita, foi realizado a pesagem de 36 perfis de alumínio escolhidos aleatoriamente do lote produzido no dia 13/09/2016.

Realizou-se também uma entrevista com funcionários que trabalham neste processo, a fim de coletar informações importantes sobre a variabilidade nos pesos dos pacotes de perfis de alumínio.

4.5 O SOFTWARE STATISTICA

Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta *Quality Control Chart*, do software Statística (Figura 9), para fazer o estudo da análise da capacidade do processo de

produção dos perfis de alumínio. Este software oferece um leque muito abrangente de análise de dados, gerenciamento de dados, visualização de dados e procedimentos de mineração de dados.

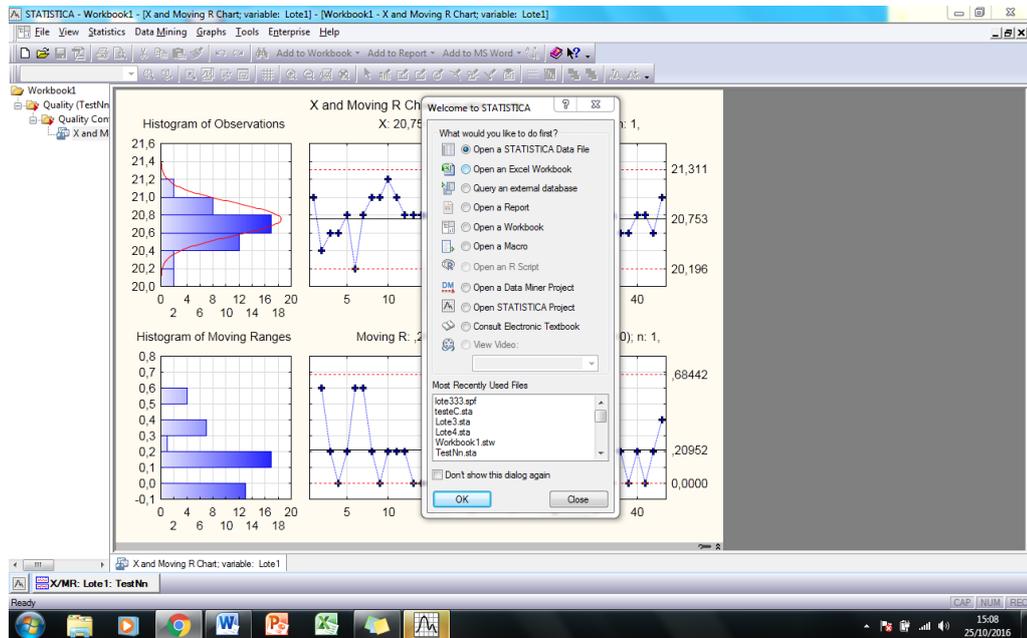


Figura 9: Software estatística
Fonte: Autoria Própria.

4.6 GRÁFICOS DE CONTROLE

Para Werkema (1995), os gráficos (cartas) de controle são ferramentas que permitem analisar a variabilidade do processo e informar se o processo encontra-se sob controle estatístico ou não. Uma das principais funções do gráfico é identificar se existem causas especiais que atuam no processo. Depois de identificar, deve-se procurar soluções com outras ferramentas.

A Figura 10 apresenta um exemplo de Gráfico de Controle formado por uma linha central (LC), um limite de controle inferior (LCI), presente abaixo da linha central e limite de controle superior (LCS), localizado acima da linha central (SOUZA, 2003).

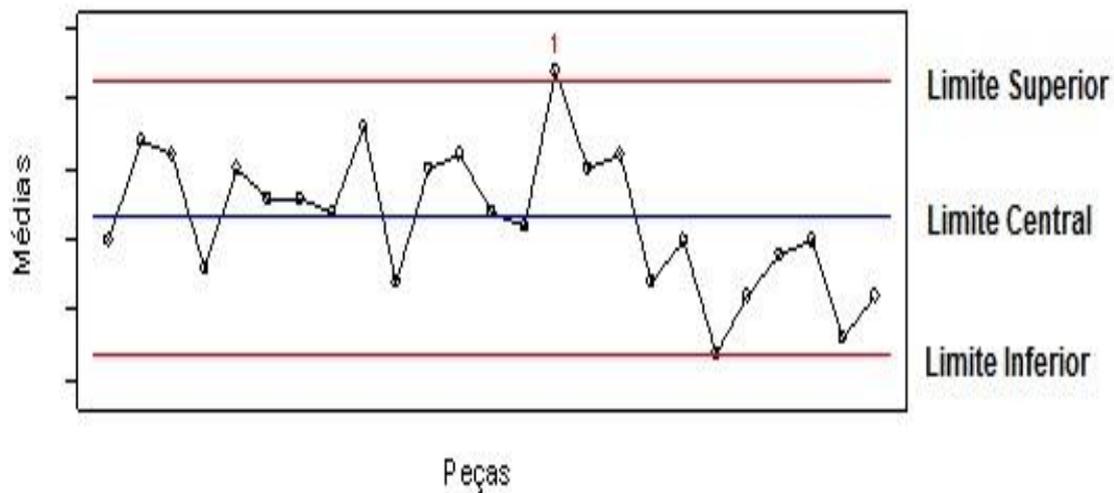


Figura 10: Gráfico de Controle
Autor: Portal Action, 2011.

Para Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), os gráficos de controle para monitoramento da qualidade podem ser divididos em dois tipos:

1) Cartas de Controle por Variáveis são utilizadas quando uma avaliação da característica da qualidade resulta numa expressão numérica em escala contínua de medidas, podendo ser dos seguintes tipos:

- a) Gráfico da média \bar{X} ;
- b) Gráfico de Amplitude R;
- c) Gráfico de Desvio Padrão;
- d) Gráficos de Medidas Individuais x .

Os gráficos de controle por variáveis mais utilizados são os gráficos da média amostral que controla a média do processo e o da amplitude amostral utilizado para o controle da variabilidade do processo, representados por \bar{X} e R.

2) Cartas de Controle por Atributos são utilizadas quando avaliado uma característica da qualidade resulta numa classificação do tipo “conforme” ou “não conforme”, sendo dos seguintes tipos:

- a) Gráfico de Proporção ou fração de defeituosos p ;
- b) Gráfico do Número de Defeitos c .

As fórmulas das cartas de controle por variáveis e as características da carta podem ser observadas na Figura 11.

Tipos de Gráfico	Limites de Controle	
	Gráfico	Fórmulas
Xbarra e R	Média	$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_1 * \bar{R}$ $LMC_{\bar{X}} = \bar{X}$ $LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 * \bar{R}$
	Amplitude	$LSC_R = D_4 * \bar{R}$ $LMC_R = \bar{R}$ $LIC_R = D_3 * \bar{R}$
Xbarra e s	Média	$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_1 * \bar{s}$ $LMC_{\bar{X}} = \bar{X}$ $LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 * \bar{s}$
	Desvio-Padrão	$LSC_s = B_4 * \bar{s}$ $LMC_s = \bar{s}$ $LIC_s = B_3 * \bar{s}$
\bar{X} e R	Mediana	$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 * \bar{R}$ $LMC_{\bar{X}} = \bar{X}$ $LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_1 * \bar{R}$
	Amplitude	$LSC_R = D_4 * \bar{R}$ $LMC_R = \bar{R}$ $LIC_R = D_3 * \bar{R}$
X _i e R	Individuais	$LSC_{X_i} = \bar{X} + 2,660 * \bar{R}$ $LMC_{X_i} = \bar{X}$ $LIC_{X_i} = \bar{X} - 2,660 * \bar{R}$
	Amplitude	$LSC_R = 3,267 * \bar{R}$ $LMC_R = \bar{R}$ $LIC_R = 0$

Figura 11: Fórmulas das Cartas de Controle por Variáveis
 Fonte: Adaptado IQA (2005, p. 79).

4.7 AMOSTRAGEM

Segundo Datallyzer (2006), amostragem são técnicas probabilísticas que possibilitam realizar levantamentos satisfatórios com base nas amostras a serem analisadas. Existem três tipos de amostras: simples, estratificada e sistêmica. A simples é frequentemente mais utilizada, é retirada de uma população uma amostra sem uma sequência definida até completar o número total desejado. A amostra estratificada é mais utilizada quando a população possui características que permite dividi-la em subconjuntos. Na amostra sistêmica, a coleta de dados é realizada através de um padrão já ordenado, podendo-se escolher aleatoriamente.

4.8 VARIABILIDADE DO PROCESSO

Para Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), em uma linha de produção, enxergar a variabilidade do processo é uma tarefa difícil, mas um produto ou características nunca serão iguais. Estas variações podem acontecer em longo ou curto prazo, separadas como causas comuns e causas específicas. Se a variabilidade do processo for considerada grande, as diferenças entre os produtos produzidos serão de fácil observação, se for considerada pequena, essas diferenças serão de difícil percepção.

Segundo Montgomery (2004), independente do planejamento ou cuidado mantido no processo, sempre existirá certa quantidade de variabilidade inerente ou natural presente.

Para Martins (2002), a variabilidade do processo pode ser classificada em dois grupos: causas não assinaláveis (variação comum) ou causas assinaláveis (variações especiais).

4.8.1 Causas Comuns

Causas Comuns são as junções de inúmeras causas pequenas, inevitáveis que não deixarão o processo fora de controle, são variáveis naturais ou “ruído de fundo” que sempre existirá, classificando o processo como sob controle estatístico (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Martins (2002), as causas não assinaláveis (variação comum) são inevitáveis e esperadas no processo, acontecem de forma aleatória.

4.8.2 Causas Especiais

Para Montgomery (2004), causas especiais são as variações do processo considerados maiores que as causas comuns ou o “ruído de fundo”, apresentam defeitos no processo o que o tornam fora de controle estatístico.

Segundo Martins (2002), as causas especiais são causadas por ocorrências claramente incomuns, e que podem ser eliminados facilmente. As causas especiais de variação afetam apenas parte dos resultados do processo e são detectadas através de análise dos gráficos de controle que mostrarão a distribuição não aleatória dos pontos no gráfico ou também um ou mais pontos fora do LCI ou do LCS.

A Figura 12 mostra um exemplo de variação de causas comuns e causas especiais nos gráficos de controle.

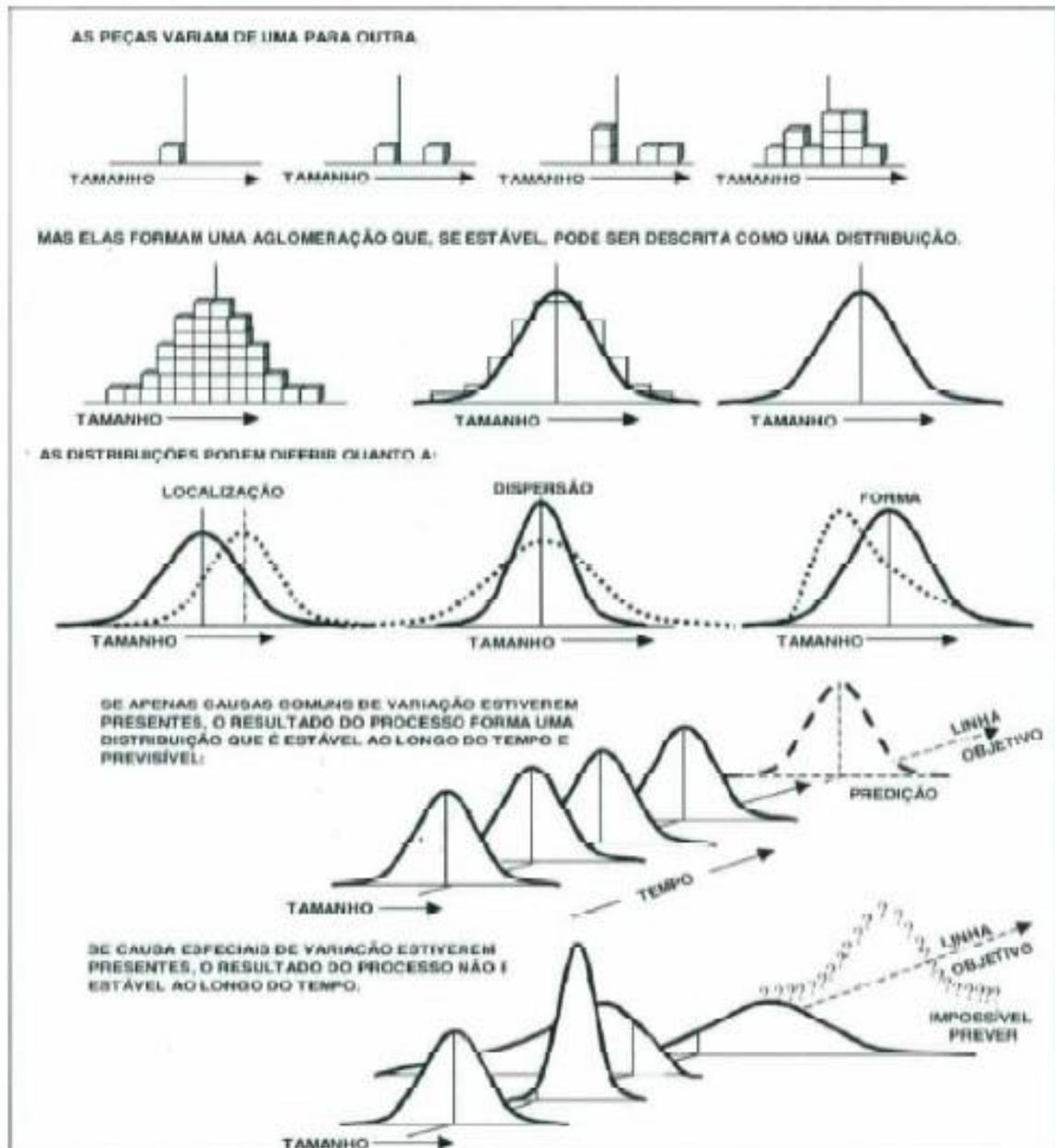


Figura 12: Exemplo de Variação de Causas Comuns e Causas Especiais
 Autor: IQA (2005, p. 12).

4.9 CAPACIDADE DO PROCESSO

Costa, Epprecht e Carpinetti (2012), definem capacidade do processo como uma medição da capacidade em produzir de acordo com as especificações de projeto, dependendo das próprias medições, informações e da variabilidade do processo.

O índice de capacidade do processo anda em conjunto com a ferramenta CEP por contribuir nas decisões necessárias para verificar se a capacidade do processo está adequada para produzir itens conformes ou não conformes (PIRES, 2000).

Segundo o Portal Action (2011), os índices de capacidade e performance do processo podem ser definidos como C_p , C_{pk} e P_p e P_{pk} .

4.9.1 Índice de Capacidade Do Processo

Basicamente, o estudo da capacidade visa verificar se um processo consegue atender às especificações determinadas pela empresa/legislação, ou não (RAMOS, 2003). Uma maneira de se analisar um processo estável, com dados que seguem uma distribuição normal, é através do índice de capacidade C_{pk} (Equação 1). Onde: LTS: Limite de tolerância superior; LTI: Limite de tolerância inferior; μ : Média do processo e σ : Desvio padrão estimado.

$$C_{PL} = \frac{(\mu - LTI)}{3\sigma}, C_{PU} = \frac{(LTS - \mu)}{3\sigma}, C_{pk} = \text{MIN}(C_{PL}, C_{PU}) \quad (1)$$

Quando os dados não seguem uma distribuição normal o índice C_{pk} deve ser modificado. Clements (1998) apresentou um método simples, muito utilizado em softwares de estatística, para obtenção da capacidade do processo. Este método não envolve a transformação dos dados. Observa-se, também, que o índice C_{pk}^* é uma aproximação do índice C_{pk} . O novo índice C_{pk}^* para análise de capacidade de processo, com dados que não seguem uma distribuição normal, é obtido através da Equação (2):

$$C_{PL} = \frac{(Md - LTI)}{Md - P_{0,135}}, C_{PU} = \frac{(LTS - Md)}{P_{99,865} - Md}, C_{pk}^* = \text{MIN}(C_{PL}, C_{PU}) \quad (2)$$

Onde: $P_{0,135}$, $P_{99,865}$ e Md (Mediana) são valores tabelados. Observa-se

que, neste trabalho, o índice C_{pk}^* foi obtido por meio do *software* Statistica.

Uma regra usual para a análise do índice de capacidade do processo é descrita no Quadro 1:

$C_{pk}^* < 1$	Capacidade do processo é inadequada à especificação exigida (processo incapaz).
$1 \leq C_{pk}^* \leq 1,33$	Capacidade do processo está dentro da especificação exigida (razoavelmente capaz).
$C_{pk}^* > 1,33$	Capacidade do processo é adequada à especificação exigida (processo capaz).

Quadro 2: Índice de capacidade do processo

Fonte: Adaptado Soares (2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente para identificação de *outliers*, valores fora da normalidade, colocou-se os dados coletados na empresa na forma de *boxplots* (Figura 13). Os dados foram obtidos a partir de três lotes consecutivos de embalagens de perfis de alumínio.

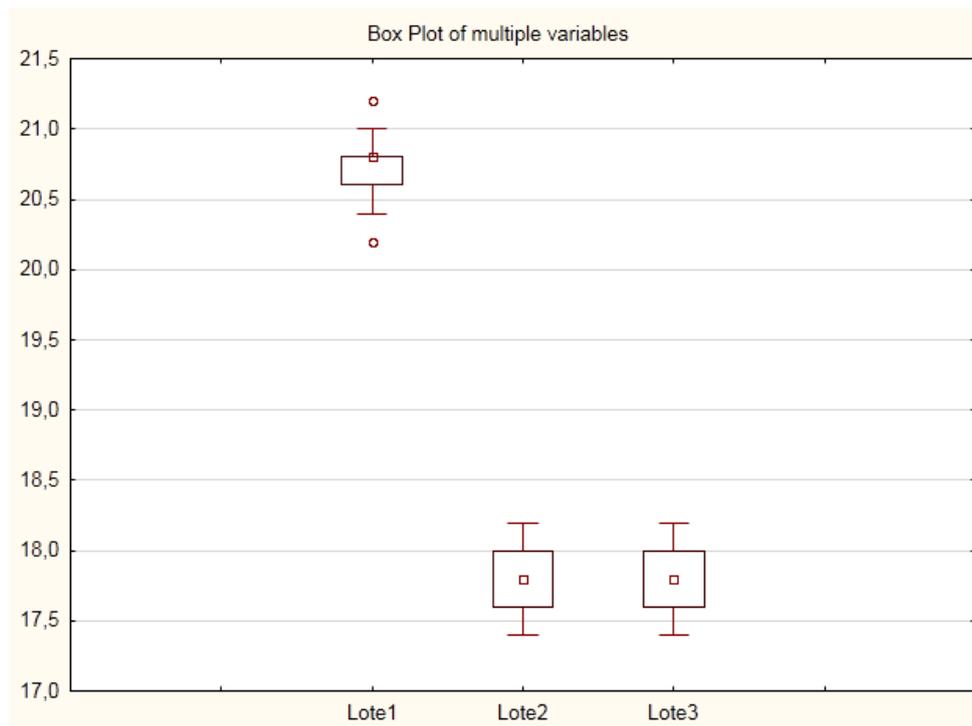


Figura 13: *Boxplots*
Fonte: Autoria Própria.

Por meio do teste de Shapiro-Wilk foi possível identificar que os dados não se ajustaram a uma distribuição normal. Observa-se, por meio dos resultados apresentados nas Figuras 14, 15 e 16, que os *p-value* obtidos foram menores que 0.05.

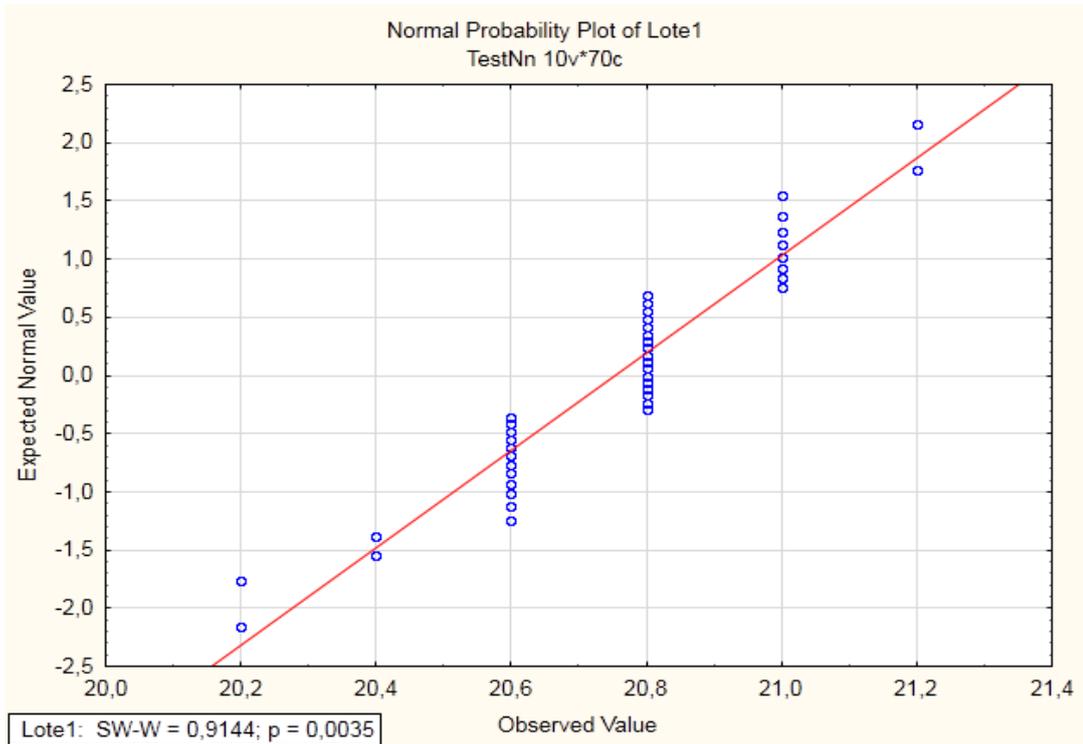


Figura 14: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 1
Fonte: Autoria Própria.

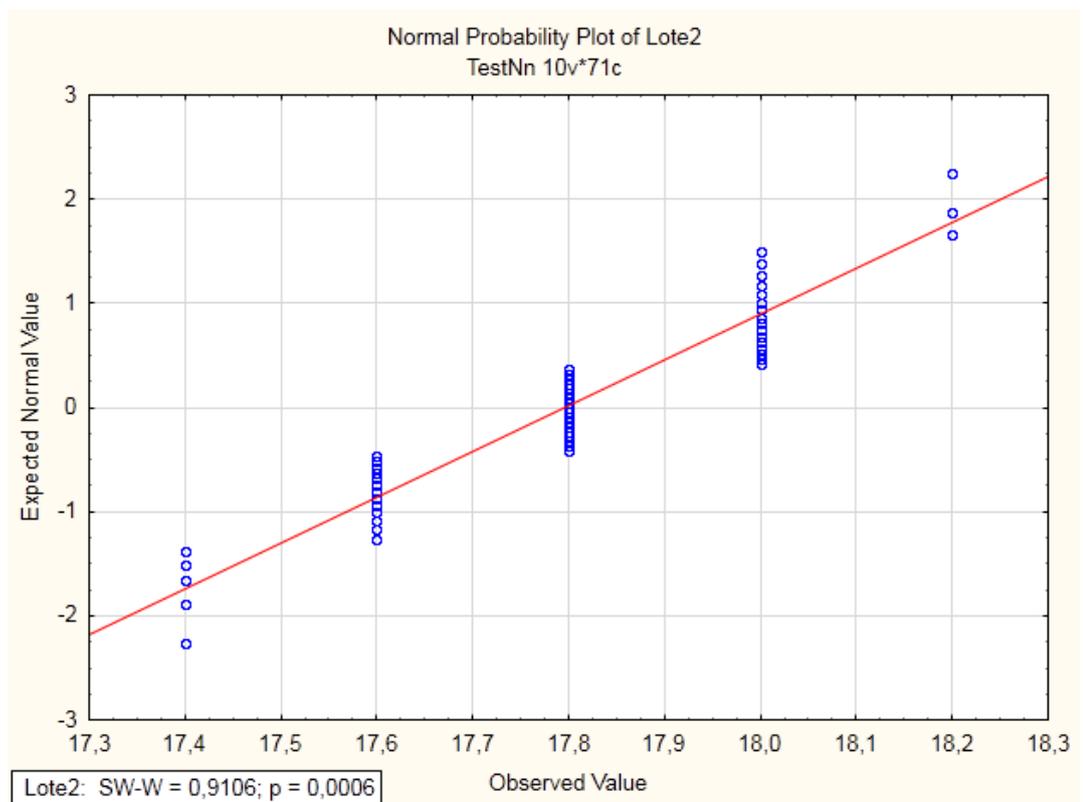


Figura 15: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 2
Fonte: Autoria Própria.

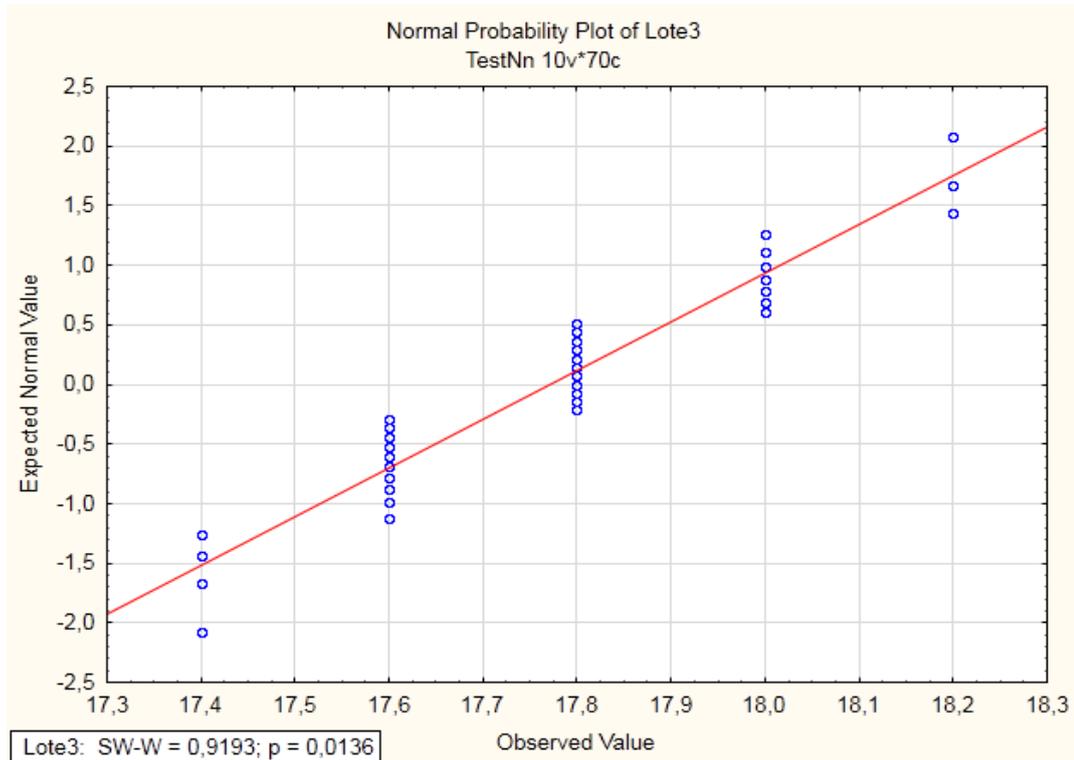


Figura 16: Distribuição dos dados em torno da reta que indica normalidade – Lote 3
Fonte: Autoria Própria.

Na sequência, depois de verificar a normalidade dos dados, utilizou-se dos gráficos de controle individual \bar{X} e da amplitude móvel MR para avaliar se os lotes de embalagens de perfis de alumínio, produzidos na empresa, estavam sob controle estatístico (Figuras 17, 18 e 19). Isto é, não apresentava causas especiais. Observa-se que os gráficos de controle funcionam a contento, mesmo que os dados não sigam uma distribuição normal.

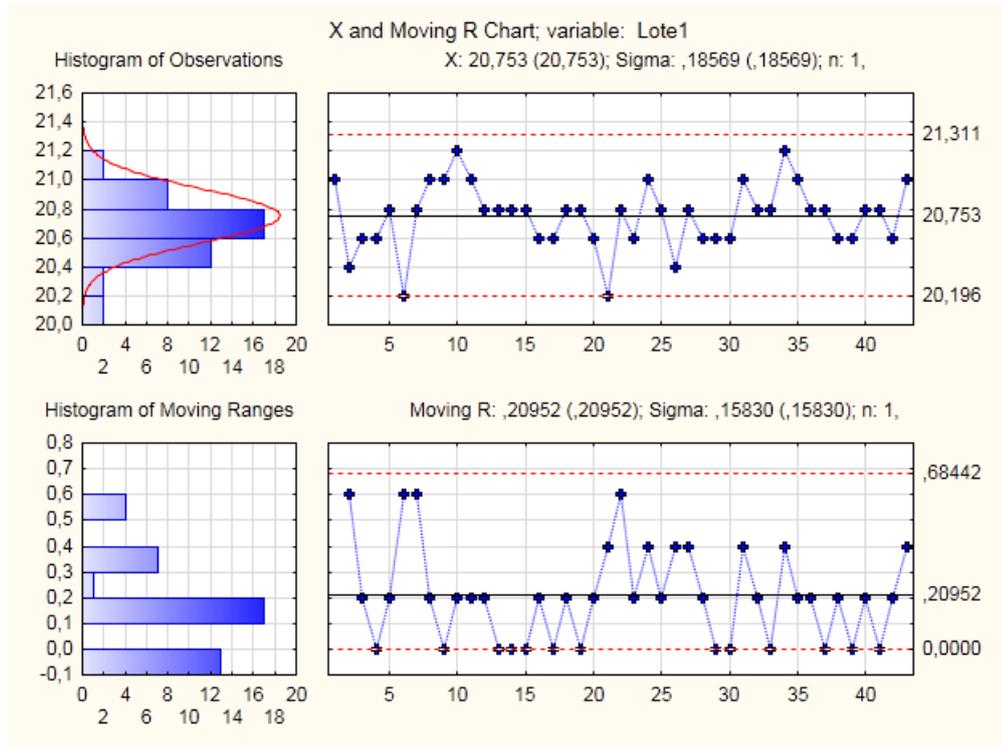


Figura 17: Gráfico de controle individual Xi e da amplitude móvel MR – Lote 1
 Fonte: Autoria Própria.

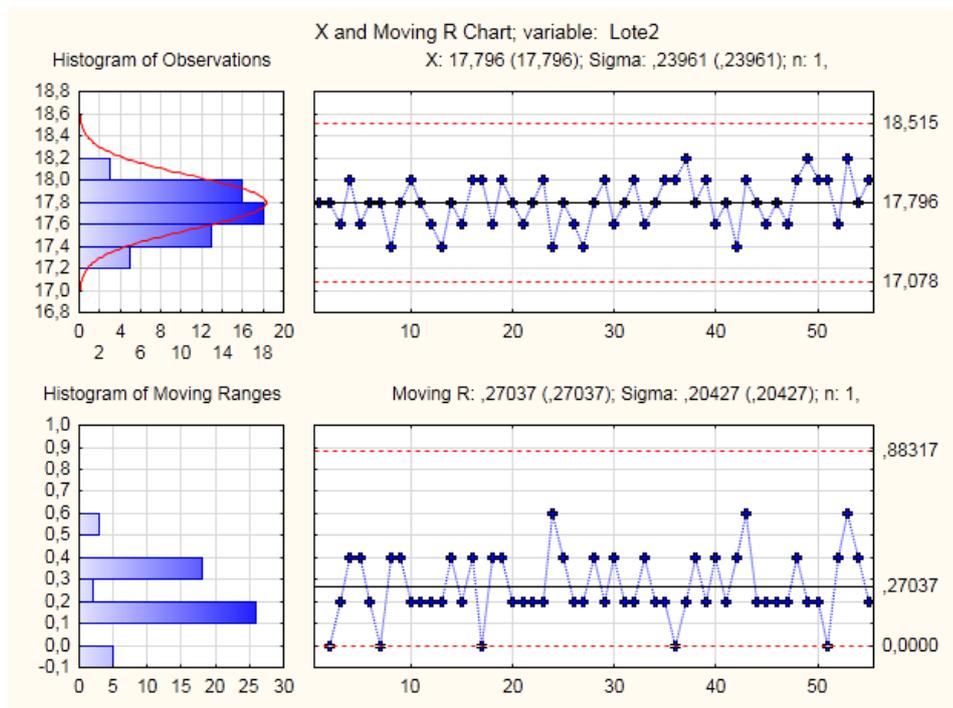


Figura 18: Gráfico de controle individual Xi e da amplitude móvel MR – Lote 2
 Fonte: Autoria Própria.

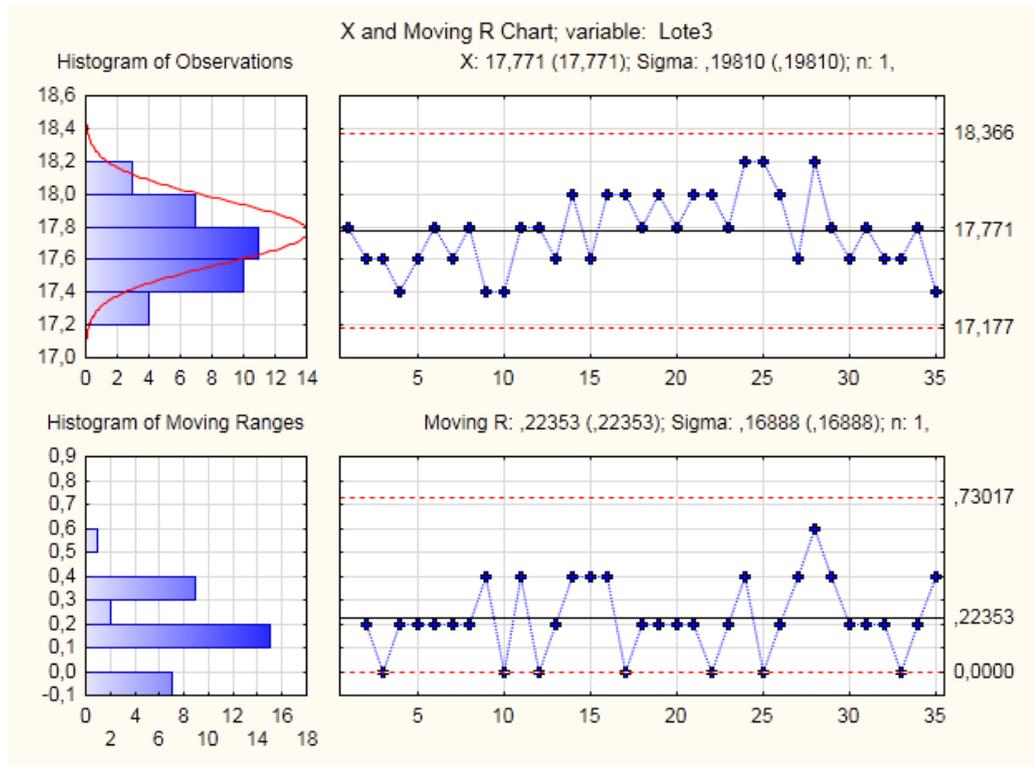


Figura 19: Gráfico de controle individual X_i e da amplitude móvel MR – Lote 3
Fonte: Autoria Própria.

Verificada a estabilidade do processo, pode-se quantificar sua capacidade empregando o índice de capacidade C_{pk}^* . A empresa adota, como parâmetro, um peso de 19 kg, para as embalagens com 18 perfis de alumínio, com uma variação de 10%. Sendo assim, as embalagens podem ter uma variação de peso de 17.1 a 20.9 kg. As Figuras 20, 21 e 22 apresentam os índices C_{pk}^* , calculados por meio do software Statistica, para os três lotes.

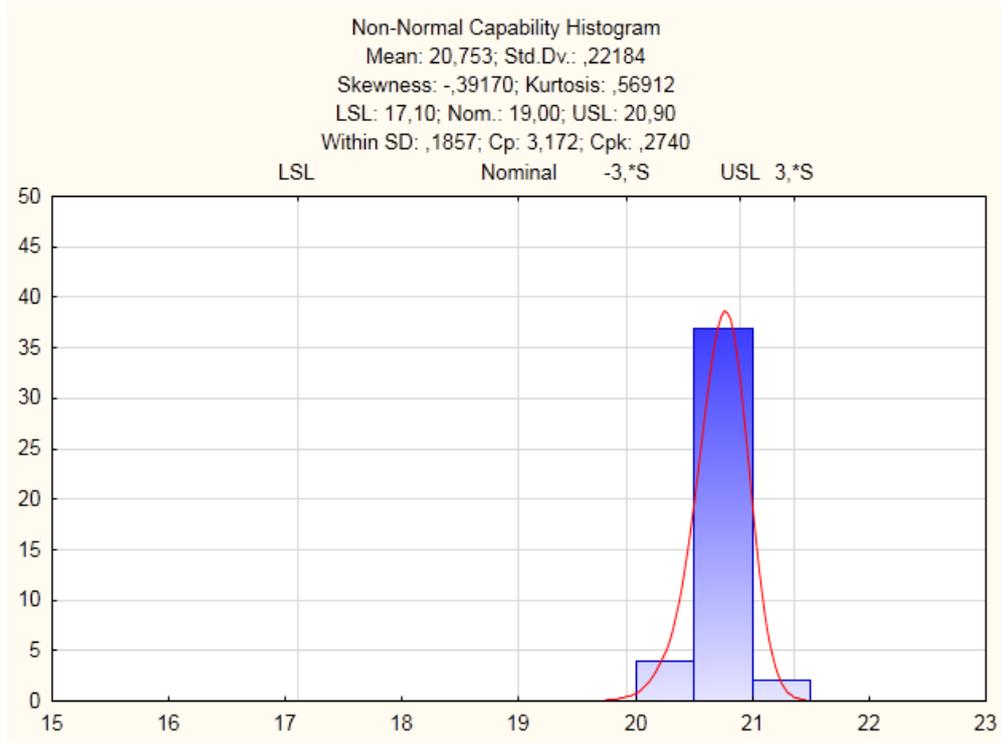


Figura 20: Histograma e Índice de Capacidade C^*_{pk} – Lote 1
 Fonte: Autoria Própria.

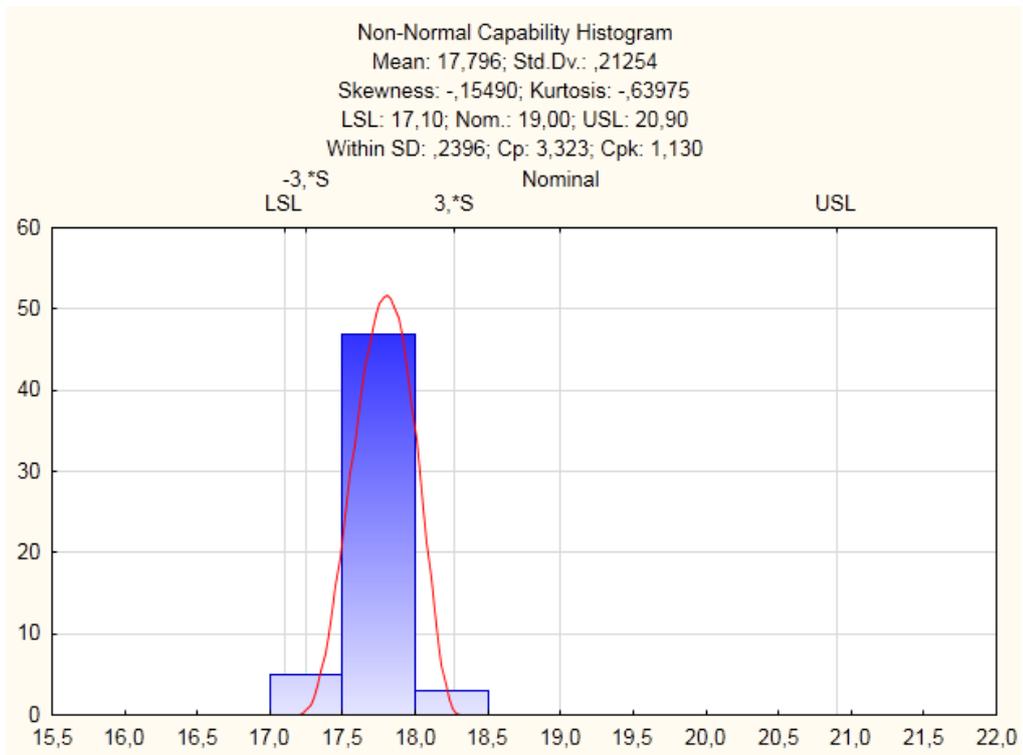


Figura 21: Histograma e Índice de Capacidade C^*_{pk} – Lote 2
 Fonte: Autoria Própria.

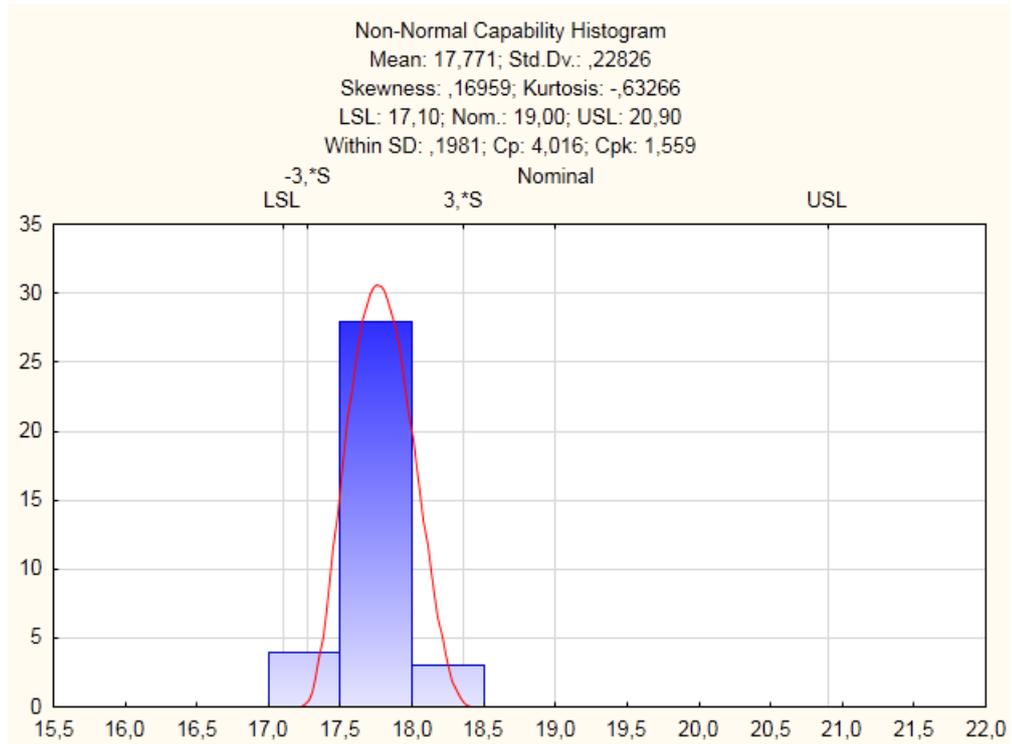


Figura 22: Histograma e Índice de Capacidade C_{pk}^* – Lote 3
 Fonte: Autoria Própria.

Observou-se dos gráficos, apresentados nas Figuras 21 e 22, que para os lotes 2 e 3 o processo foi considerado razoavelmente capaz e capaz com os índices $C_{pk}^*=1.130$ e $C_{pk}^*=1.559$, respectivamente. Sendo o lote 1 (Figura 20) considerado incapaz, $C_{pk}^*=0.2740$, por terem sido fabricados neste lote produtos fora das especificações adotadas pela empresa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se as metodologias utilizadas para calcular a capacidade do processo de fabricação de perfis de alumínio em uma indústria localizada na Região Sul do País.

Foram avaliados três lotes de perfis de alumínio, assumindo as especificações de 90 a 110% para a variação do peso das embalagens. Empregaram-se gráficos de controle para valores individuais e amplitudes móveis para analisar a estabilidade do processo. Os pontos mantiveram-se dentro do limite de controle e não apresentaram pontos indicando causas especiais e padrões de não-aleatoriedade. Observou-se, por meio do teste de Shapiro-Wilk, que os dados dos três lotes coletados na empresa não seguiam uma distribuição normal. Portanto, utilizou-se da metodologia sugerida por Clemente (1998) para encontrar o índice de capacidade de processo (C_{pk}^*).

Com os cálculos dos índices de capacidade observou-se, nos três lotes estudados, que os processos de fabricação dos lotes 2 e 3 foram considerados razoavelmente capaz e capaz. Enquanto, o lote 1 foi considerado incapaz. Os gráficos, apresentados nas Figuras 21, 22 e 23 demonstram que existem deslocamentos na concentração dos dados coletados em relação aos limites especificados lateralmente à esquerda e à direita da média dos valores. Portanto, a empresa precisa analisar o seu processo de produção porque as médias dos três lotes (20.753 kg, 17.796 kg, 17,771 kg) estão um pouco distantes da média especificada pela empresa (19 kg). Sugere-se, como trabalhos futuros que seja realizado estudos na extrusora e nos moldes utilizados na fabricação dos perfis de alumínio com o objetivo de evitar variações nas dimensões dos perfis.

REFERÊNCIAS

ABAL. **Associação Brasileira do Alumínio**. Disponível em: <www.abal.org.br>, acesso em 30 de março de 2016.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

CHAVES, J.B.P. **Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos**. Viçosa, MG:(s.n.), 1997. p. 162.

CLEMENTS, J. A. **Process capability calculations for non-normal distributions**. Quality Progress, Milwaukee, v.22, n.9, p. 95-100, 1989.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHIT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade: Métodos Estatísticos**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

DAVIS, M.M., AQUILANO N.J., CHASE R.B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3ª Edição. Porto Alegre, Bookman Editora, 2001.

DP. Dicas de Programação. **O que é Programação?** Disponível em: <http://www.dicasdeprogramacao.com.br/o-que-e-algoritmo/#comments>. Acesso em 01 de junho de 2016.

DTALYZER. **O Propósito do Controle Estatístico do Processo em Tempo Real**. Guaratinguetá - SP, 2006. Disponível em: <http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info60/60.html>. Acesso em 15 de abril de 2016.

FLEXEVENTOS. Disponível em www.flexeventos.com.br, acesso em 20 de abril de 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: atlas, 2009.

GONÇALVES, T. V. A. **Controle estatístico do processo de usinagem de peças automotivas: um estudo de caso em uma empresa do centro oeste de Minas Gerais**. Formiga, 2011.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Manual de Referência. **Controle Estatístico do Processo (CEP)**. São Paulo, 2005.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M. Controle da qualidade – Handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Editora Érica, 2013.

LOTUSMETAL. Disponível em <http://www.lotusmetal.com.br/produtos/tarugos-aluminio>, acesso em 30 de setembro de 2016.

MADRAS, T.T.T.I. **Controle de Qualidade**. Traduzido por: Flávio Deny Steffen. São Paulo - SP: McGraw-Hill, 1990. p. 1-54.

MARTINS, R. A. **Controle estatístico de processo**. 2002. Apostila do curso de Engenharia de Produção, São Carlos, 2002.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

MONTGOMERY, D.C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PIRES, Verônica Tassinari. **Implantação do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

PORTAL ACTION. **Software de estatística**. São Carlos – SP, 2011. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/graficos-ou-cartas-de-controle>. Acesso em 19 de abril de 2016.

Ramos EMLS. **Aperfeiçoamento e desenvolvimento de ferramentas do controle estatístico de qualidade - utilizando quartiz para estimar o desvio padrão.** [Tese] Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2003.

REIS, M. M. **Um modelo para o ensino do controle estatístico da qualidade.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).

SILVA, T. C. S. **Relatório de estágio supervisionado: Indústria alimentícia Mendonça Ltda.** 2010. Relatório de estágio (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2010.

SIMÕES, Leider; RIBEIRO, Máris de Cássia. **O Ciclo Pdca Como Ferramenta Da Qualidade Total.** Unisalesiano de Lins, 2007.

SOARES, G. M. V. P. P. **Aplicação do controle estatístico de processos em indústria de bebidas: um estudo de caso.** 2001. 133f. Dissertação (Pós-Graduação Engenharia de Produção), Uberaba, 2011.

SOUZA, Rosely Antunes. **Aplicação de ferramentas estatística no processo de envase de azeitonas verdes.** Florianópolis, 2003.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** Rio de Janeiro: Campus, 1999.

Vitrallux. Disponível em <http://www.vitrallux.com.br/perfis-de-aluminio/>, acesso em 30 de setembro de 2016.

WERKEMA, M. C. C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.