

MARLON DO VALE CARVALHO

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NO ENVASE DE
LÍQUIDO EM SAQUINHOS**

Guaratinguetá - SP
2017

MARLON DO VALE CARVALHO

APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NO ENVASE DE
LÍQUIDO EM SAQUINHOS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Aparecida
Guerreiro Machado de Freitas

Guaratinguetá - SP
2017

Carvalho, Marlon do Vale

C331a Aplicação do controle estatístico do processo no envase de líquido em saquinhos / Marlon do Vale Carvalho— Guaratinguetá, 2017.
42 f: ii.

Bibliografia: f. 40-42

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientador: ProP. Dr^a. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas

1. Controle de processo - Métodos estatísticos 2 Embalagens - Industria. I. Título

CDU 658.511.3

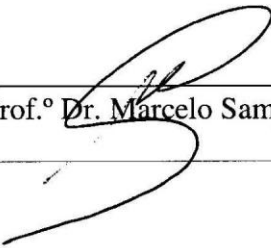

Pâmella Benevides Gonçalves

Bibliotecária CRB/8: 9203

MARLON DO VALE CARVALHO


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Coordenador Prof.º Dr. Marcelo Sampaio Martins

BANCA EXAMINADORA:



Prof.ª Dra. MARCELA APARECIDA GUERREIRO

MACHADO DE FREITAS

Orientadora/UNESP-FEG



Prof.º MSc CELSO FRANCISCO DE MORAES

UNESP-FEG



RAUL ACIDO PINTO ALVES DA CRUZ

UNESP-

Dezembro de 2017

DADOS CURRICULARES

MARLON DO VALE CARVALHO

NASCIMENTO 06.03.1990 – São Paulo / SP

FILIAÇÃO Aldy Carvalho
Maria Lenir Sá do Vale Carvalho

2011/2017 Engenharia Mecânica
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, meus esforços, minha família e amigos;

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas que me deu a oportunidade de realizar o trabalho em um assunto que me despertou interesse ao longo da graduação.

Aos meus pais Aldy e Lenir, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos, me possibilitando atividades que me ajudaram na vida, como intercâmbio e diversos cursos.

Ao Raul Acedo Pinto Alves da Cruz, que me ajudou nos experimentos com o equipamento, explicando e mostrando como a máquina funciona para a melhor conclusão do trabalho.

A minha namorada Cristina, que sempre me incentivou durante minhas dificuldades na graduação e me ajudou e aconselhou a atingir meus objetivos.

À minha república *Ama-Zonas* que me ajudou de todas as formas possíveis, me ajudando a crescer como pessoa desde o momento que cheguei em Guaratinguetá, em especial aos meus companheiros de república, Rodrigo Oda, Erick Yamaguchi, Renan Camargo, Diego Lopes, Lucas Monteiro e André Gimenes que me deram suporte para realização da parte experimental desse trabalho.

RESUMO

Com o intuito de adquirir produtos com uma qualidade elevada, o Controle Estatístico do Processo (CEP) oferece vantagens significativas na sua utilização, possibilitando uma avaliação eficaz do processo e um posterior monitoramento. Sendo assim, este trabalho apresenta a aplicação do controle estatístico do processo através de seus conceitos e ferramentas em uma máquina de envase de líquidos em saquinhos, principalmente utilizando gráficos de controle. Com base em um estudo bibliográfico, inicialmente o trabalho apresenta ferramentas do Controle Estatístico do Processo, para se familiarizar com suas características e operação. Posteriormente determina-se o comportamento do equipamento PREPAC 1000 para envase de líquidos em saquinhos, monitorando a variável de controle “volume de líquido” presente dentro dos saquinhos (embalagem plástica), através de medições indiretas, já que o volume é medido através do peso das embalagens com o líquido. Após as medições constrói-se os gráficos de controle da qualidade para determinar se o processo de envase estudado está ou não em controle.

PALAVRAS-CHAVE: Controle Estatístico do Processo (CEP). Envase de líquidos. Saquinhos.

ABSTRACT

In order to acquire products with a high quality, the statistical process control (SPC) offers significant advantages in its use, allowing an efficient evaluation of the process and a subsequent monitoring. Thus, this work presents the application of statistical process control through its concepts and tools in a liquid container machine in sachets, mainly using control charts. Based on a bibliographic study, initially the work presents Statistical Process Control tools to familiarize itself with its characteristics and operation. Subsequently, the behavior of the PREPAC 1000 equipment for packaging of liquids in sachets is determined by monitoring the control variable "volume of liquid" present inside the bags (plastic packaging), through indirect measurements, because the volume is measured by weight of the packages with the liquid. After the measurements, the control charts are constructed to determine if the packaging process studied is or is not in control.

KEYWORDS: Statistical Process Control (SPC). Filling liquid. Plastic packaging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Causas atribuíveis e aleatórias de variabilidade	19
Figura 2 – Exemplo de gráfico de controle (a) Processo sob controle. (b) Processo fora de controle	20
Figura 3 – Classificação de processos a partir do Índice CP	26
Figura 4 – Ação a ser adotada para melhorar a capacidade do processo	27
Figura 5 – Equipamento de envase PREPAC 1000	28
Figura 6 – Embalagem de 200ml após a produção da PREPAC 1000	29
Figura 7 – Gráfico de Amplitude para volume de envase.....	34
Figura 8 – Gráfico de Média para volume de envase	34
Figura 9 – Equipamento de envase PREPAC 1000	35
Figura 10 – Embalagem de 200ml após a produção da PREPAC 1000	36
Figura 11 – Gráfico de valores das 150 amostras coletadas	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Guia p gráfico de controle	23
Tabela 2 – Peso dos saquinhos plásticos em gramas	31
Tabela 2 – Valores das constantes d2 e d3	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	11
1.2 OBJETIVO.....	11
1.3 JUSTIFICATIVAS	12
1.4 DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO ESTUDADO	12
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO SOB O PONTO DE VISTA DA QUALIDADE	14
2.2 O DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE DA QUALIDADE.....	15
2.3 CONCEITOS BÁSICOS DO CONTROLE DA QUALIDADE	16
2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)	17
2.5 CONCEITOS DO CEP	17
2.6 GRÁFICOS DE CONTROLE	20
2.7 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE.....	21
2.8 INSPEÇÃO E AMOSTRAGEM	24
2.9 CAPACIDADE DE PROCESSOS	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	28
3.2 COLETA DE DADOS.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE	31
4.2 VERIFICAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL	34
5 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

“ A qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes”, (JURAN & GRINA, 1993, p11).

Com essa definição em mente e com o mercado cada vez mais competitivo e industrias buscando produzir cada vez mais com gastos menores, a qualidade dos produtos e serviços se torna um requisito básico para a existência de qualquer empresa. Os produtos devem possuir cada vez mais uma qualidade elevada, enquanto seus custos devem ser cada vez menores.

Com esse objetivo presente na maioria das empresas, o Controle Estatístico do Processo (CEP) torna-se uma ferramenta essencial para o monitoramento de processos, de forma que os gráficos de controle, utilizando variáveis de controle bem definidas, possam auxiliar na compreensão do comportamento do processo.

A fundamentação do CEP está apoiada no conceito de variabilidade, que junto a conceitos de qualidade explica a aplicação do Controle Estatístico do Processo. Segundo Carvalho e Paladini (2005), Crosby define como qualidade tudo que segue as especificações. E caso a variabilidade do processo seja elevada e as especificações não são seguidas, a qualidade se torna cada vez mais difícil de ser atingida.

Portanto, o emprego do CEP possibilita avaliar o processo e conseguir uma maior confiabilidade no produto, além de poder melhorar o processo, já que os problemas foram identificados e planos de ação podem ser aplicados para minimizar ou extinguir esses problemas para no fim diminuir a variabilidade do processo.

1.2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal mostrar a empregabilidade da ferramenta de CEP, gráficos de controle \bar{X} e R, em uma máquina de envase de líquidos em saquinhos, de maneira que se possa verificar as principais causas para a variabilidade do processo em estudo.

Como objetivo específico, pretende-se identificar se o equipamento se encontra sob controle, para com isso produzir embalagens com um baixo índice de variabilidade, gerando assim, produtos com elevado grau de qualidade, pois segundo Montgomery (2004), o controle estatístico do processo

possui várias ferramentas úteis para solucionar problemas de estabilidade do processo e redução da variabilidade.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Esse trabalho se torna relevante a partir do momento que existe uma grande utilização de saquinhos como embalagens para líquidos em países do continente africano (de acordo com um artigo publicado pela CNN em 2010), assim como uma diversificação de sua utilização no Brasil, com envase de leite e sucos por exemplo. Portanto esse estudo pode ser útil para empresas que utilizam esse equipamento de envase.

Além de que esse trabalho, de acordo com pesquisas bibliográficas, é o primeiro a realizar estudos de CEP no equipamento PREPAC 1000.

1.4 DEFINIÇÃO DO PARÂMETRO ESTUDADO

A análise se restringe ao peso das embalagens produzidas pelo equipamento de envase, pois assim determina-se o volume presente no interior de cada líquido, uma vez que esse é o fator mais sensível a possuir elevada variabilidade.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho é organizado em capítulos que fornecem uma análise do conteúdo teórico utilizado nos estudos, assim como a interpretação dos dados coletados na etapa experimental, resultados e considerações finais.

O primeiro capítulo apresenta a introdução da pesquisa, objetivos a serem alcançados com o estudo, as justificativas e as definições dos parâmetros estudados que servem como base para utilizar a metodologia que é empregada no trabalho.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica, expondo os principais conceitos selecionados que possuem relação com o estudo desse trabalho. Descrição teórica sobre controle estatístico do processo (CEP), ferramentas auxiliares para a qualidade, gráficos de controle e a construção dos mesmos.

O terceiro capítulo apresenta a descrição do equipamento base para o estudo deste trabalho, assim como a metodologia adotada para a coleta de dados e posterior análise e construção dos gráficos de controle.

O quarto capítulo contém a análise dos resultados coletados após o experimento com o equipamento. Mostrando a distribuição dos dados coletados, a construção dos gráficos de controle e a discussão da normalidade na distribuição das amostras produzidas pelo equipamento.

Por fim, no quinto capítulo as conclusões do estudo, indicando a importância da distribuição normal das amostras coletadas, algumas hipóteses para o acontecimento de causas especiais na máquina de envase, além de apresentar algumas abordagens sugeridas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO SOB O PONTO DE VISTA DA QUALIDADE

A Western Electric Company (1956) definiu que o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) está relacionado as características do processo, através dos dados que são trabalhados para que se comportem conforme o desejado. O CEQ, através de dados estatísticos, permite que a variabilidade seja estudada de forma sistemática.

Segundo Woodall e Montgomery (1999), CEQ é um ramo da estatística industrial, que se comporta de quatro maneiras: Aceitação por Amostragem, Planejamento de Experimentos, Estudo de Capacidade de Processos e Controle Estatístico do Processo.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é caracterizado como uma metodologia preventiva para processos produtivos, utilizando análises e técnicas estatísticas para analisar o comportamento do processo, permitindo a implementação de medidas corretivas, com o intuito de manter o processo dentro dos parâmetros estabelecidos. De acordo com Reis (2001), o objetivo é ajudar na definição dos padrões de qualidade e diminuir a variabilidade desses mesmos padrões definidos. Assim possibilita um direcionamento maior para a obtenção dos objetivos que tangem a melhoria da qualidade.

Para que o produto produzido atenda as expectativas e exigências do consumidor, o processo deve ocorrer sob condições conhecidas e controladas, sem grandes variações, garantindo assim que o produto esteja dentro dos limites de especificação do fabricante e siga uma padronização esperada pelo consumidor.

Os conceitos estatísticos presentes no CEP são conhecidos há bastante tempo. Desde a década de 80 métodos estatísticos para melhorar a qualidade são aplicados nos Estados Unidos. A crise mundial na década de 70 impulsionou a utilização de modelos estatísticos para melhorar a produção das grandes empresas.

O CEP surgiu no Japão através de conceitos introduzidos por Deming, que era influenciado por Shewhart e Juran. Com os trabalhos de Ishikawa e Tagushi, os procedimentos de CEP foram expandidos para aumentar a eficiência.

O início do controle estatístico do processo ocorreu na década de 20, com o desenvolvimento de gráficos de controle nos Bell Telephone Laboratories por Walter A. Shewhart, de acordo com Costa et al. (2005). Esta ferramenta foi criada com o intuito de oferecer algo de simples utilização e entendimento, pois seria utilizado por operários de baixo nível de escolarização.

2.2 O DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE DA QUALIDADE

A Partir de 1950 no Japão, o desenvolvimento da gestão da qualidade com foco no cliente ganhou destaque e foi nomeada de controle da qualidade total (TQC).

Após a Segunda Guerra Mundial, as exigências mais rígidas dos consumidores e o cenário socioeconômico mundial fizeram com que as empresas buscassem alternativas para atender a essas mudanças. Com a sintetização dos modelos estatísticos, Deming teve uma elevada contribuição para os modelos utilizados nos dias de hoje. Já Ishikawa propôs a participação de funcionários na solução de problemas de qualidade através do controle de qualidade. E Juran designou que o problema de qualidade vem da administração, destacando que um esforço da mão de obra não era suficiente para ter um controle na qualidade.

Segundo Campos (2004), o modelo japonês de TQC pode ser definido como um sistema gerencial, que visa produção e serviços mais econômicos, satisfazendo suas necessidades com práticas de controle da qualidade e usando a ajuda de todos os funcionários da empresa. O TQC tem como objetivo conquistar a satisfação do cliente, pois assim a sobrevivência da organização fica mais estável perante o concorrido mercado que ela está inserida. Segundo o autor, a relação entre a organização com consumidores, funcionários, fornecedores, acionistas e comunidade, está bastante relacionada com a qualidade final do produto e depende das necessidades e interesses de cada um.

Ao contrário de outros modelos gerenciais utilizado pelas empresas, o TQC permite que todas as pessoas envolvidas no processo sejam capazes de assimilar competências para planejar e gerenciar suas próprias atividades. De acordo com o TQC, os esforços empregados para atender as necessidades das pessoas, interna e externamente, relacionadas a empresa, de forma que hábitos e idéias sejam conduzidas de maneira correta, estão relacionados à satisfação do cliente final.

De acordo com Carvalho e Paladini (2005), outra característica importante do TQC japonês é o gerenciamento pelas diretrizes, baseado no ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), que determina o foco da empresa e o melhor caminho a ser seguido para que as metas desejadas sejam alcançadas. Com essas metas definidas, desenvolve-se colaboradores na gestão das atividades diárias da organização.

Com o desenvolvimento de novos conceitos e o surgimento de novas necessidades das empresas e clientes, o conceito de TQC evoluiu, resultando no TQM (Gestão da qualidade total). Para Carvalho e Pladini (2005), o TQM baseia-se em uma estratégia administrativa presente em todos os processos da empresa, promovendo a melhoria contínua de seus processos, produtos, pessoas, meio ambiente, sabendo qual é a principal necessidade do cliente. Ou seja, esse modelo tem o foco no

gerenciamento organizacional para melhorar a qualidade e maximizar a competitividade e não se limita a atividades de controle do processo.

De acordo com Rotondaro (2005), a gestão do processo pode ser definida como um modelo contínuo de avaliação, análise e melhoria do desempenho do processo-chave, o que exerce mais impacto para a satisfação do cliente e dos acionistas. Segundo o autor, os objetivos principais da gestão do processo são reduzir a sua complexidade, determinar os desejos dos clientes internos e externos, criar indicadores, garantir o fornecimento de serviços e produtos de qualidade para o funcionamento do processo e estabelecer as suas prioridades.

Para a implementação da gestão do processo, deve-se determinar uma equipe principal capaz de planejar o trabalho, levantar as necessidades dos clientes e identificar os processos críticos para serem abordados com mais atenção. Uma tarefa muito importante para a gestão do processo é o mapeamento adequado do processo, pois permite conhecer com detalhe os fatores influenciadores e todos os aspectos existentes no processo.

2.3 CONCEITOS BÁSICOS DO CONTROLE DA QUALIDADE

De acordo com Werkema (1995), os conceitos que servem de base para o Controle da Qualidade Total são:

- Qualidade

O termo qualidade pode ser interpretado de diferentes maneiras e é muito importante que o controle da qualidade total utilizado seja definido. De acordo com Campos (2004), a qualidade de um produto ou serviço é definido quando ocorre um atendimento total das expectativas, confiável, seguro e no tempo correto às necessidades do cliente

- Processo

Processo pode ser interpretado como um conjunto sequencial e particular de ações com o um objetivo comum, e esses objetivos podem ser os mais variados possíveis, desde criar, inventar, produzir e controlar. O conjunto dessas ações ou atividades tem o intuito de gerar resultados para o cliente, desde o início do pedido até a entrega do produto.

- Item de Controle e Item de Verificação

De acordo com os parâmetros de qualidade de um produto estabelecidos de acordo com os desejos do cliente, deve-se criar parâmetros de grandezas mensuráveis, permitindo assim avaliar a qualidade final do produto. Esses parâmetros são denominados de itens de controle, que permitem um acompanhamento adequado e evitam resultados indesejáveis. Os itens de controle podem ser

influenciados por diversas causas, as quais são nominadas de itens de verificação. Esses itens de verificação podem ser medidos e controlados. De acordo com Campos (2004), os índices de controle são índices numéricos definidos de acordo com estudo, enquanto que os itens de verificação são índices numéricos relacionados às causas que afetam um item de controle.

2.4 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)

O Controle Estatístico do Processo (CEP) permite, desde que o mesmo tenha um padrão referenciado, a comparação dos resultados de um processo. O objetivo principal é manter um nível de capacidade e estabilidade, com o intuito de garantir a qualidade e produtividade de produtos.

Segundo Sommer (2001), CEP não é um modelo que tem começo meio e fim, mas uma filosofia de trabalho, em que o operador terá recursos para prevenir em tempo hábil um possível descontrole do processo.

Durante a cadeia do processo existem pontos específicos ou subprocessos que podem ser caracterizados como pontos críticos, pois são determinantes para o sucesso da cadeia produtiva. Esses pontos críticos devem ser monitorados e controlados para garantir a qualidade do processo.

Através do desenvolvimento do CEP utilizando métodos estatísticos, Shewhart em parceria com Deming, propuseram um sistema para o controle do processo. O princípio básico é determinar quando um processo está em estado de controle, utilizando variáveis aleatoriamente independentes e identicamente distribuídas, para depois avaliar, de acordo com a distribuição dos dados, se o processo se afasta dessa distribuição, e conseqüentemente avaliar a necessidade de tomar ações corretivas. Com isso, a principal contribuição de Shewhart foi com os gráficos de controle.

Shewhart percebeu que os conceitos de qualidade e de variabilidade são contrários, no sentido que são inversamente proporcionais. Com o estudo de Shewhart percebeu-se que medindo, analisando e monitorando as variáveis do processo, melhores níveis de qualidade eram atingidos.

De acordo com Montgomery (2004), uma vez que se deseja um processo estável, as pessoas envolvidas devem sempre buscar a melhoria do desempenho do processo e reduzir possíveis variabilidades que possam existir. Com o intuito de atingir esse objetivo, o controle estatístico do processo é uma ferramenta primordial.

2.5 CONCEITOS DO CEP

O conceito de que essencialmente existirão variações das características de um produto para outro devido à variabilidade do processo, baseia a teoria do CEP. Segundo Costa et al. (2005), as diferenças que existem entre as unidades produzidas são chamadas de variabilidade do processo. A diferença será tão maior, quanto maior for a variabilidade do processo. E com o CEP mantém-se um nível de estabilidade que garante a qualidade dos itens produzidos.

De acordo com Costa et al. (2005), até hoje são aceitas as explicações de Shewhart para a variabilidade dos processos, pois de acordo com essas explicações, por mais bem controlado e projetado que seja o processo, existem variabilidades impossíveis de serem eliminadas. Sendo assim, sempre existirão diferenças entre dois produtos de um mesmo processo em função da chamada variabilidade natural do processo, resultante de diversas causas aleatórias que são muito difíceis de se mudar.

Um pequeno efeito cumulativo de diversas pequenas causas, relativos ao processo, em que a distribuição é estável e repetitiva ao longo do tempo, causa a variabilidade natural.

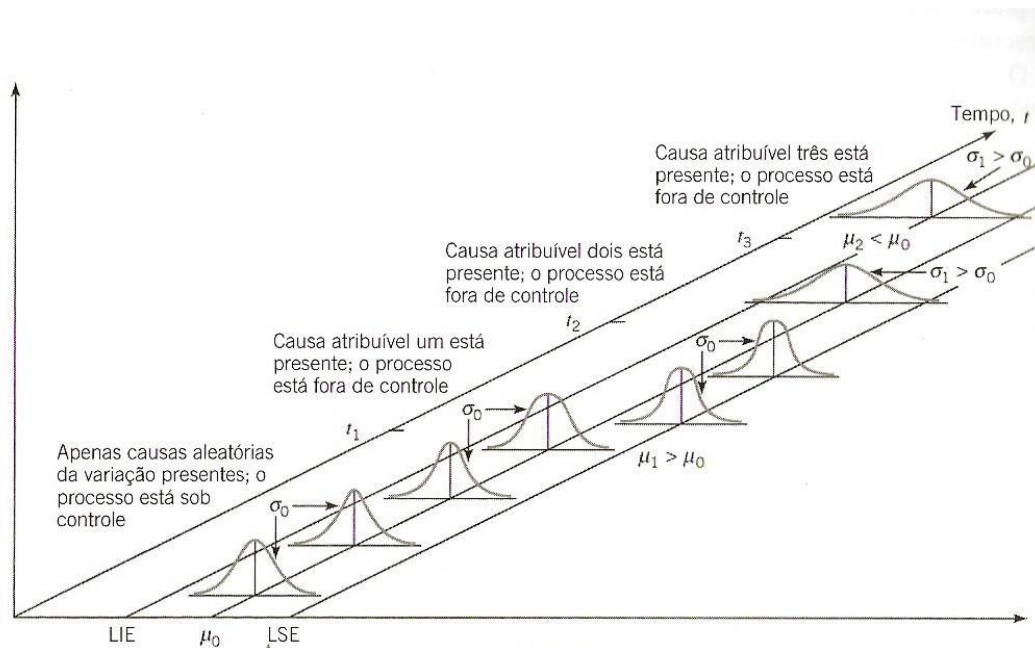
Um processo encontra-se em estado de controle estatístico quando ele apresenta somente variabilidade natural, ou seja, somente causas aleatórias interferem na produção.

Entretanto, máquinas desajustadas, matéria prima fora das especificações ou erro de operação, também são fatores causadores que interferem a produção e causam variabilidade a um processo anteriormente estável.

Segundo Costa et al. (2005), todo processo está sujeito a perturbações maiores, nomeadas de causas especiais, em que são capazes de deslocar a distribuição da variável X e/ou aumentar a dispersão dela.

De acordo com Montgomery (2004), causas especiais ou atribuíveis são causas de variabilidade que não são aleatórias. Essas causas não aleatórias influenciam muito mais no processo do que as causas aleatórias, causando um desempenho abaixo do aceitável do processo. Na Figura 1 pode-se observar a influência das causas atribuíveis e aleatórias na variabilidade do processo.

Figura 1 – Causas atribuíveis e aleatórias de variabilidade



Fonte: Montgomery (2004, p.96)

A detecção eficiente de mudanças no processo causadas por causas especiais pode ser facilitada com a utilização do controle estatístico do processo, de tal forma que seja possível identificar alterações antes que uma grande quantidade de produtos seja produzida fora das especificações, evitando assim, custos excessivos, retrabalho e perdas.

As ferramentas estatísticas que o CEP utiliza e que servem para analisar os problemas da qualidade e melhorar o desempenho dos processos produtivos são:

- a) Folhas de Verificação
- b) Diagrama de Pareto
- c) Diagrama de Causa-Efeito
- d) Diagrama de Dispersão
- e) Fluxograma
- f) Histograma
- g) Gráfico de Controle

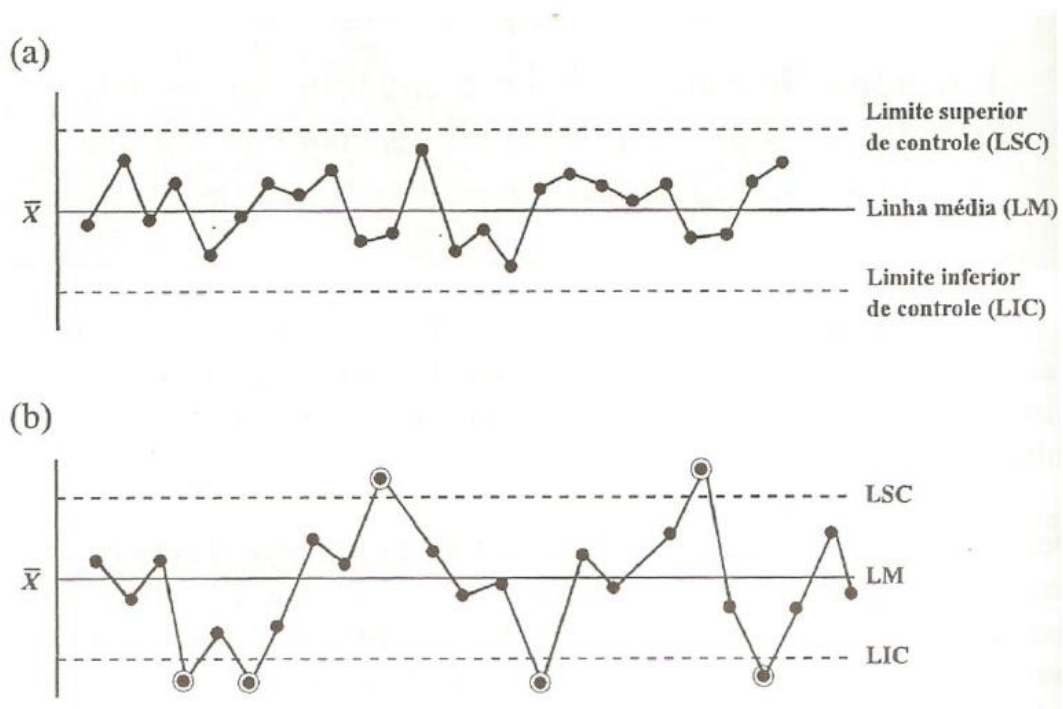
De acordo com OLIVEIRA (2009), os gráficos de controle permitem enxergar o comportamento do processo de forma fácil e objetiva, sempre recalculando a variabilidade, o que permite tomar ações eficazes para a melhoria do processo.

2.6 GRÁFICOS DE CONTROLE

Como em um controle estatístico, a verificação da estabilidade do processo é essencial, pois processos instáveis contribuem para a produção de produtos defeituosos ou fora das especificações. Os Gráficos de controle são fundamentais para fiscalizar a variabilidade e avaliar a estabilidade do processo, ou seja, eles podem ser decisivos para a aprovação do produto. Os gráficos são amplamente usados quando se deseja obter um estado de controle estatístico e monitorar um processo.

Os gráficos de controle também são conhecidos como gráficos de controle de Shewhart, pois foram desenvolvidos e propostos por Dr. Walter S. Shewhart. A definição de acordo com Montgomery (2004), é de um gráfico que representa a qualidade do que foi medido a partir de uma amostra, relacionado com o tempo ou com a quantidade de amostras, a Figura 2 apresenta um exemplo de gráfico de controle com um processo sob controle e outro fora de controle. O valor médio do que está sendo analisado é representado por uma linha central, em que o processo encontra-se sob controle e somente causas aleatórias agem sobre ele. O gráfico também apresenta duas linhas, onde uma representa o limite superior e a outra o limite inferior, que delimitam a área onde os valores medidos podem estar presentes para o processo ser considerado sob controle. Qualquer medida que esteja fora dessa área entre os dois limites, indica que o processo está fora de controle, necessitando uma análise mais profunda para encontrar as causas para tal fato.

Figura 2 – Exemplo de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora do controle



Fonte: Werkema (1995)

Ainda segundo Montgomery (2004), mesmo que todos os valores medidos estejam entre os limites superior e inferior do gráfico de controle, no caso de se observar um comportamento sistêmico no gráfico, em que pontos os pontos apresentem uma configuração especial que exclua a aleatoriedade das medidas coletadas, o processo pode estar fora de controle, já que um processo em controle possui em sua definição dados aleatórios.

Portanto, os gráficos de controle são uma ferramenta que auxilia na atual classificação do processo e mostra o comportamento da produção. A representação gráfica do processo que eles proporcionam deve ser utilizada para facilitar e embasar decisões de mudanças no processo. Com esse entendimento, Montgomery (2004) apresenta quatro razões que justificam a grande utilização dos gráficos de controle nas indústrias.

- Uma vez que essa ferramenta ajuda a reduzir perdas e retrabalhos, ela proporciona um aumento na produtividade;
- Uma vez que consegue manter o controle eficiente de um processo, os produtos oriundos desse processo saem com uma melhor qualidade e o número de produtos defeituosos é menor;
- Os gráficos evitam ajustes desnecessários no processo, pois eles ajudam a distinguir as causas que afetam a variabilidade;
- Uma vez que esses gráficos fornecem diagnósticos da situação do processo, pode-se implementar mudanças no sistema que geram resultados melhores.

O número de amostras deve ser levado em consideração para se obter o gráfico de controle. Segundo Siqueira (1997), não existem regras pré-estabelecidas para determinar o número de amostras e subgrupos para construir o gráfico de controle, portanto, deve-se analisar o custo de inspeção, o volume produzido e quão criterioso deve ser o gráfico levando em conta a importância da informação em questão.

2.7 TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROLE

Os gráficos de controle podem ser classificados de acordo com as características de qualidade analisadas no processo, ou seja, gráficos de controle para variáveis e gráficos de controle para atributos, Tabela 1.

Gráficos de controle para variáveis são usados quando características de qualidade podem ser expressas em termos numéricos, com unidades que representam escala contínua de medida. As

amostras utilizadas para a construção do gráfico, normalmente contém mais de uma medição individual, sendo nomeadas de subgrupos. Dentro dessa categoria os tipos de gráfico de controle mais utilizados são (MONTGOMERY, 2004; WERKEMA, 1995).

- **Gráfico da Média (\bar{X}):** são plotadas as médias das amostras, com isso acompanha-se o nível médio do processo a partir da variabilidade das medidas coletadas e também controla-se os valores médios das características estudadas. As amostras devem ser selecionadas de modo a aumentar as chances de deslocamento na média entre as amostras em relação à média do processo, de tal forma que estes pontos sejam caracterizados fora de controle.
- **Gráfico da Amplitude (R):** mostra a variabilidade dentro de uma mesma amostra, de tal forma que as amostras devem ser selecionadas permitindo que a variabilidade dentro da amostra meça apenas causas aleatórias. De acordo com Werkema (1995), os gráficos \bar{X} e R devem ser utilizados em conjunto, para assim garantir um acompanhamento mais eficiente do processo.
- **Gráfico do Desvio Padrão (S):** são plotados os valores de desvio padrão, que indicam a variabilidade das medidas. São recomendados quando se trata de amostras superiores a 10 ou 12 ($n > 10$), pois para amostras superiores a estas a amplitude (R) perde a eficiência para estimar σ . Este gráfico também deve ser utilizado em conjunto ao gráfico da média.
- **Gráfico de Medidas Individuais (X):** para casos em que a amostra consiste de uma unidade individual, este gráfico é recomendado. Isso pode acontecer onde há inspeção e medição automatizada e todas as unidades produzidas são inspecionadas. Pode ocorrer também quando a taxa de produção é muito lenta e torna-se inviável aguardar acúmulo de amostras para realizar a análise, ou quando o desvio padrão é muito pequeno. Além desses casos, o gráfico pode ser empregado quando várias medidas são tomadas em uma mesma unidade do produto.

Já os gráficos de controle para atributos são utilizados para características da qualidade que não podem ser medidas em uma escala quantitativa, de acordo com Montgomery (2004), sendo possível utilizar classificação para os produtos, como conformes ou não-conformes, por exemplo. Utiliza a contagem do número de itens do produto que possuem um atributo, uma característica particular de interesse. Para esses tipos de gráficos, o tamanho do subgrupo n depende do tipo de

gráfico utilizado. Desta categoria de gráficos de controle, os mais utilizados são (MONTGOMERY, 2004; WERKEMA, 1995).

- **Gráfico da Proporção de Itens Defeituosos (Gráfico p):** para casos em que a característica da qualidade em questão é representada pela proporção de itens defeituosos que são liberados pelo processo analisado. Portanto, trata-se da parcela entre a quantidade de itens não conformes em relação ao total produzido. Basta que o item não atenda ao padrão pré-estabelecido em pelo menos uma das características que ele irá ser classificado como não-conforme.
- **Gráfico do Número Total de Defeitos (Gráfico c):** para casos em que existe a necessidade de realizar o controle do número total de defeitos em uma unidade do produto. De forma geral, estes gráficos assumem que a ocorrência de não-conformidade em amostras de tamanho constante é bem modelado pela distribuição de Poisson.

Tabela 1 – Guia para Gráfico de Controle

	Tipo de gráfico	Parâmetro	Uso Típico	Vantagem	Desvantagem	Comentário
Variáveis	\bar{X} R S	Média, amplitude e desvio padrão do subgrupo	Processo onde predomina o uso de máquinas	Uma ótima visão da variação estatística de um processo	-Cálculos complexos - Respostas demoradas - Relação indireta entre limites de controle e tolerâncias	- Selecionar cuidadosamente o tamanho do subgrupo - Frequência e número de subgrupos usados para estabelecimento e restabelecimento de limites de controle
	X	Média individual	Onde apenas uma observação por lote é disponível	Mais rápido e fácil de ser contemplado e explicado. Comparável diretamente a tolerância	Não é tão sensível quanto os gráficos R e \bar{X}	
Atributos	p c	- Fração não-conforme - Número de não-conformidades - Não conformidades por unidade	Apenas dados de atributos disponíveis para monitorar qualidade de uma unidade complexa com mais de uma característica	- Os dados são geralmente mais fáceis de se obter do que os dados das variáveis. - Os cálculos são mais fáceis do que o gráfico \bar{X}	Atributos não são tão úteis para trabalho de diagnóstico quanto os dados variáveis	A medida que a qualidade melhora, os subgrupos ficam maiores. Consequentemente, todos os gráficos de atributos devem tornar-se obsoletos.

Fonte: Adaptado de Juran & Gryna (1993, p.209)

A Tabela 1 pode auxiliar na escolha ou identificação do tipo de Gráfico de Controle utilizado, de acordo com o processo estabelecido, sempre com foco em executar itens que estejam em conformidade com as especificações.

2.8 INSPEÇÃO E AMOSTRAGEM

Todo processo possui como característica própria a sua variabilidade, sendo impossível obter produtos absolutamente idênticos. Essa variabilidade, caso esteja muito acentuada, pode ocasionar produtos defeituosos ou fora das especificações.

A inspeção detalhada de todos os produtos produzidos na grande maioria das vezes é inviável, ou pela destruição do produto, ou pelo elevado custo de inspeção. Portanto, usa-se como alternativa, a inspeção por amostragem.

A amostra deve ser coletada de maneira totalmente aleatória, sem qualquer influência ou livre de qualquer viés, para que represente a produção de forma confiável. As amostras devem ser retiradas do processo de tal forma que suas características sejam padronizadas como o resto dos produtos do processo, e os métodos de avaliação devem seguir normas, métodos e sistemas de medição calibrados e adequados, para que seja possível tratar os dados desta amostra e obter resultados bastante próximos da realidade de todo o lote analisado.

De acordo com Costa et al. (2005), itens selecionados de forma aleatória compõem a amostra e, de acordo com a incidência de defeitos na amostra, o lote pode ser aceito ou rejeitado. Para verificar se o lote é aceito, é realizado um teste de hipótese para inspeção de aceitação, quando a variável tem distribuição de probabilidade binomial:

$$H_0: p = p_0$$

$$H_1: p > p_0$$

onde p é a proporção de defeitos que o processo possui. Ainda de acordo com Costa et al. (2005), se o processo estiver operando sob forma controlada, a proporção gira em torno de p_0 , tornando a hipótese H_0 verdadeira. Com o aumento na proporção de itens defeituosos, por problemas na produção, a hipótese H_1 torna-se verdadeira.

Segundo Montgomery (2004), é importante levar em consideração os seguintes aspectos de amostragem:

- A quantidade do lote não é estimada por meio da amostragem de aceitação. O lote é analisado apenas quanto à sua aceitação;

- Não necessariamente lotes aceitos são melhores do que lotes rejeitados, pois a amostra de aceitação apenas aceita ou rejeita lotes, independentemente se os lotes são equivalentes, leva-se em consideração apenas a amostra;
- A amostragem de aceitação não tem a função de inspecionar a qualidade do produto, mas seu objetivo principal é de verificar se os produtos dos processos se encontram dentro das especificações.

2.9 CAPACIDADE DE PROCESSOS

A capacidade de um processo é obtida por meio da análise da relação existente entre os níveis de variabilidade do processo e as exigências de especificação, revelando a uniformidade do processo. A capacidade representa o que o processo é capaz de realizar.

Segundo Costa et al. (2005), os índices de capacidade do processo (ICPs) medem indiretamente o quanto o processo analisado é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir das necessidades dos clientes. Quanto maior o valor do índice, mais o processo satisfaz as especificações. E se o processo é instável, seu processo é imprevisível, logo não faz sentido analisar a sua capacidade.

Os índices de processo são adimensionais e possibilitam qualificar o desempenho do processo. Para a utilização desses índices, é necessário que o processo esteja em controle estatístico e que a variável de interesse tenha distribuição normal.

De acordo com Montgomery (2004), as utilizações principais da análise de capacidade estão relacionadas com o auxílio da modificação de um processo para um novo produto, com o planejamento de uma sequência de tarefas produtivas, com a definição de exigências de desempenho para um novo equipamento e com a redução da variabilidade de um processo.

Ainda segundo Montgomery (2004), é importante que os dados utilizados sigam uma distribuição normal para que a análise de capacidade seja confiável.

Os índices de capacidade mais usados são C_p , C_{pk} e C_{pm} que são dados pelas seguintes expressões:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad \text{Equação 1}$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\} \quad \text{Equação 2}$$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}} \quad \text{Equação 3}$$

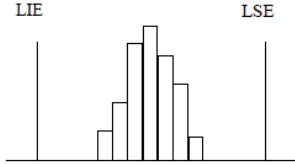
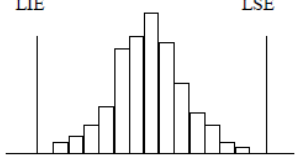
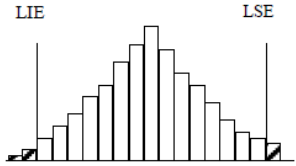
Onde LSE e LIE são, respectivamente, o limite superior de especificação e o limite inferior de especificação. Esses limites são determinados após conhecer os requisitos que satisfazem a necessidade do cliente.

O índice C_p é utilizado para medir a dispersão do processo, ou seja, o quanto o processo é capaz de seguir as especificações exigidas, na Figura 3 pode-se observar a classificação do processo de acordo com o índice C_p .

O cálculo de C_p não considera a média, levando em conta somente a dispersão 6σ do processo analisado. Por essa razão, C_p deve ser utilizado quando se trata de um processo centrado no alvo. De acordo com Costa et al. (2005), este índice não é sensível a alterações que ocorram na média do processo e por esse motivo, é aconselhável usá-lo quando a média está centrada no valor alvo.

Quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em atender as especificações, desde que a média μ tenha sua posição centrada no valor nominal. Para C_p inferior a 1, o processo é considerado não capaz.

Figura 3 – Classificação de Processos a partir do Índice C_p .

CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	VALOR DE C_p	COMPARAÇÃO DO HISTOGRAMA COM AS ESPECIFICAÇÕES	PROPORÇÃO DE DEFEITUOSOS
CAPAZ OU ADEQUADO (VERDE)	$C_p \geq 1,33$		$p \leq 64 \text{ ppm}$
ACEITÁVEL (AMARELO)	$1 \leq C_p < 1,33$		$64 \text{ ppm} < p \leq 0,27\%$
INCAPAZ OU INADEQUADO (VERMELHO)	$C_p < 1$		$p > 0,27\%$

Fonte: Werkema (1995, p.280)

O índice C_{pk} , ao contrário de C_p , leva em conta a centralização do processo. Quando $C_p = C_{pk}$, significa que o processo está centrado no ponto médio dos valores de especificações, pois a média coincide com o valor nominal da especificação, medindo a capacidade real existente no

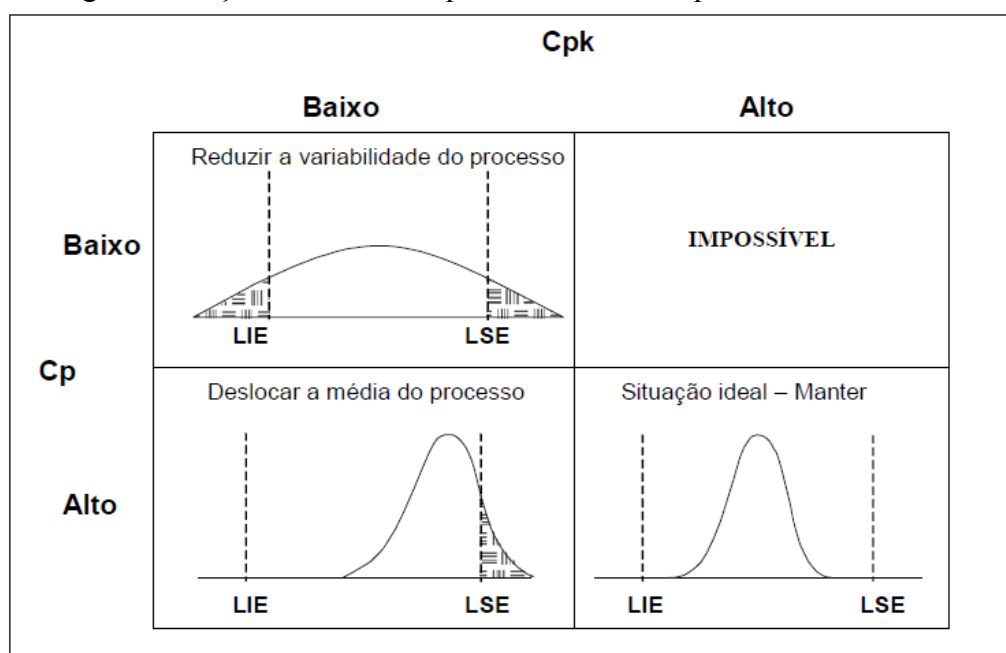
processo. Ou seja, Cpk identifica a posição da média em relação aos limites estabelecidos.

De acordo com Montgomery (2005), Cp mede a capacidade potencial do processo, ao passo que o índice Cpk mensura a capacidade efetiva.

Cpk pode ser interpretado como a medida da capacidade real do processo, já que o cálculo leva em conta o limite de especificação mais próximo da sua média. O valor mínimo exigido para Cpk é 1,33. Quanto menor o Cpk, maior será a dispersão do processo, logo, maior será o distanciamento da média do processo em relação ao valor médio de especificação.

Como Cpk mede ao mesmo tempo a posição e a dispersão, segundo Sommer (2001, p.6), algumas empresas, pensando na melhoria de seus processos, solicitam que os fornecedores informem os índices, objetivando assim a comprovação de suas ações de melhoria. A verificação pode ser feita comparando os últimos resultados apresentados com os anteriores. Na figura 4 representa as ações a serem adotadas de acordo com os valores dos índices dos processos.

Figura 4 – Ação a ser adotada para Melhorar a Capacidade do Processo.



Fonte: Werkema (1995, p.283)

Para Costa et al. (2004), o índice mostra-se inadequado quando o processo produz unidades fora da conformidade em iguais proporções, situação está que irá gerar valores muito diferentes para o referido índice, caracterizando desvantagem. Além disso, processos que geram itens não-conformes em proporções muito distintas, apresentam valores para Cpm muito próximos. Isso devido ao fato de o índice Cpm punir os processos muito mais pela falta de centralidade (média do processo distante do centro das especificações) do que pela quantidade produzida de itens não conformes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO UTILIZADO

O estudo foi realizado no laboratório de monitoramento de processos do Departamento de Engenharia de Produção Mecânica da FEG que fica situado no laboratório de ICP do Colégio Técnico da FEG, onde se encontra o equipamento de envase de líquidos em saquinhos plásticos. O equipamento utilizado de modelo PREPAC 1000 (Figura 5) pertence a empresa Prepac do Brasil. Ela realiza uma produção de aproximadamente 1300 embalagens a cada hora e possui um bico injetor para envase.

Para o seu correto funcionamento são necessários um fornecimento de embalagens que são disponibilizadas em bobinas, fornecimento do líquido desejado para o envase que é armazenado na parte superior do equipamento para um posterior envase nas embalagens e fornecimento de ar comprimido a uma pressão adequada e constante para abertura e fechamento das válvulas de envase e de selamento das embalagens.

Figura 5 – Equipamento de envase PREPAC 1000



Fonte: Produção do próprio autor

3.2 COLETA DE DADOS

O controle de qualidade nas empresas tem como objetivo principal acompanhar e auxiliar o processo de fabricação, mantendo o padrão dos produtos e certificando que as características finais estão de acordo com as predeterminadas pelo fabricante. Esse controle é iniciado com a matéria prima, que deve ser de qualidade e manter o mesmo padrão antes de ser envasado.

Neste trabalho, foi utilizado água proveniente da rede de distribuição da cidade de Guaratinguetá, e não foi necessário fazer um controle da qualidade da água, pois a variável de estudo foi o volume de líquido envasado dentro da embalagem plástica. Essas embalagens plásticas foram projetadas para conter 200ml de líquido (Figura 6).

Para o início da coleta de dados foi estabelecido que a máquina não possuía causas especiais, como variação da pressão de fornecimento de água, volume do reservatório de líquido do equipamento e o aquecimento excessivo dos componentes que lacram as embalagens. Pois esses fatores podem causar variações no volume final do produto.

Figura 6 – Embalagem de 200ml após a produção da PREPAC 1000



Fonte: Produção do próprio autor

Como o líquido utilizado no experimento foi a água, e a massa específica da água é de 1g/cm^3 , decidiu-se utilizar a variável peso para determinar o volume de líquido dentro dos saquinhos, portanto 200,0g equivalem a 200,0ml. Como se trata de um método de medição indireto, deve-se

descontar o peso da embalagem plástica, que no caso possui uma média de 2,71g, logo a embalagem com o líquido deve ter 202,71g.

Para determinar se o processo estava calibrado para realizar a produção de embalagens com 200,0ml de água, foi utilizado uma balança de precisão de 1,0g para identificar se os produtos estavam saindo com peso de aproximadamente 202,7g. Caso os seus valores estivessem muito acima ou muito abaixo, indicaria que o processo ainda não estava calibrado. Para a calibração da produção, deve-se variar o tempo em que o bico injetor fica aberto e o tempo que as resistências horizontal e vertical ficam atuando para lacrar os saquinhos. Os tempos calibrados foram respectivamente para o bico injetor, resistência vertical e resistência horizontal de 365ms, 276ms e 280ms.

Para a construção dos gráficos de controle, nesse trabalho, foi decidido utilizar 30 grupos de 5 amostras ($m=30$ e $n=5$), com intervalo de 100 amostras ou 5 minutos aproximadamente. Cada amostra foi medida, posteriormente, em uma balança de precisão 0,01g e registrada na Tabela 2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE

Através dos dados coletados e registrados na Tabela 2 foi possível identificar parâmetros do processo (média e desvio padrão) e determinar os limites de controle para os gráficos \bar{X} e R, além de poder determinar $\bar{\bar{X}} = 216,49$ e $\bar{R} = 6,32$.

Tabela 2 – Peso dos saquinhos plásticos em g

Subgrupos (m)	Amostras (n)					R	\bar{X}
	1	2	3	4	5		
1	219,97	214,50	219,80	213,41	213,55	6,56	216,246
2	221,56	228,96	221,42	228,95	220,74	8,22	224,326
3	208,11	209,69	204,04	208,84	209,8	5,76	208,096
4	222,82	226,37	218,79	220,03	227,16	8,37	223,034
5	219,67	215,00	222,61	222,73	220,68	7,73	220,138
6	210,08	213,95	214,94	216,31	216,13	6,23	214,282
7	227,64	225,99	225,91	225,87	222,74	4,90	225,630
8	213,96	209,26	214,19	213,23	207,66	6,53	211,660
9	219,03	216,12	219,31	219,36	220,37	4,25	218,838
10	227,09	224,71	224,04	228,13	228,80	4,76	226,554
11	204,03	195,22	195,48	200,5	205,38	10,16	200,122
12	221,06	223,34	222,64	224,96	215,46	9,50	221,492
13	219,75	217,27	219,20	218,63	216,26	3,49	218,222
14	212,33	214,46	214,79	208,22	215,01	6,79	212,962
15	224,45	222,84	225,02	223,27	225,2	2,36	224,156
16	209,75	209,45	209,37	208,19	209,08	1,56	209,168
17	214,84	220,00	208,66	219,04	219,55	11,34	216,418
18	223,55	223,71	223,06	223,78	222,28	1,50	223,276
19	211,32	211,35	210,41	209,62	210,89	1,73	210,718
20	213,81	213,51	214,50	214,50	206,74	7,76	212,612
21	222,27	221,79	221,36	215,08	215,70	7,19	219,240
22	222,81	222,45	222,81	215,79	222,47	7,02	221,266
23	195,57	180,06	183,70	192,94	193,63	15,51	189,180
24	218,75	217,80	210,93	217,26	218,77	7,84	216,702
25	216,7	215,44	222,91	222,42	222,94	7,50	220,082
26	218,18	224,40	224,44	225,28	224,61	7,10	223,382
27	217,18	216,41	211,43	210,57	217,66	7,09	214,650
28	216,18	215,38	208,62	214,61	216,58	7,96	214,274
29	226,64	226,53	226,54	226,81	226,05	0,76	226,514
30	212,66	210,63	211,9	211,15	211,00	2,03	211,468

Fonte: Produção do Próprio autor

Os gráficos \bar{X} e R foram escolhidos para realizar a análise do controle desse processo pois são recomendados para monitorar a média e a variabilidade de um processo onde a variável medida possui uma escala contínua de medição, no caso, volume de água no saquinho.

Para a construção dos gráficos e monitoramento do processo, a cada intervalo de tempo h , retira-se uma amostra de tamanho n para a análise. Para cada subgrupo, é calculado a média \bar{X} das amostras medidas e a amplitude R, que é a diferença do maior e o menor valor da amostra. Os valores de \bar{X} e R são plotados nos gráficos de média e amplitude, respectivamente.

Sendo a variável a medida dada por X , com distribuição normal e o processo em controle, obtém-se:

$$\bar{X} = \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} \quad \text{Equação 4}$$

a média e o desvio padrão são representados, respectivamente, por μ_0 e σ_0 . E X_{ij} é o j -ésimo elemento do i -ésimo subgrupo, n é o tamanho dos subgrupos. Logo os limites de controle do gráfico de \bar{X} , com os limites de $+3\sigma_0$ e $-3\sigma_0$ da média, são:

$$LSC\bar{X} = \mu_0 + \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad \text{Equação 5}$$

$$LM\bar{X} = \mu_0 \quad \text{Equação 6}$$

$$LIC\bar{X} = \mu_0 - \frac{3\sigma_0}{\sqrt{n}} \quad \text{Equação 7}$$

Já os limites de controle para o Gráfico de R, também representados a três desvios padrão de afastamento da média para mais e para menos, são:

$$LSCR = d_2\sigma_0 + 3d_3\sigma_0 \quad \text{Equação 8}$$

$$LMR = d_2\sigma_0 \quad \text{Equação 9}$$

$$LICR = d_2\sigma_0 - 3d_3\sigma_0 \quad \text{Equação 10}$$

As constantes d_2 e d_3 dependem apenas do tamanho da amostra n .

Tabela 3- Valores das constantes d_2 e d_3

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,078	3,173	3,258
d3	0,853	0,888	0,88	0,864	0,848	0,833	0,82	0,808	0,797	0,787	0,778

Fonte: Costa et al. (2005)

De acordo com Costa et al. (2005), na prática os valores de μ_0 e σ_0 não são adquiridos com exatidão e portanto, estimativas disponíveis são utilizadas no lugar. De um conjunto inicial de m subgrupos, a estimativa para μ_0 é o valor médio das médias das amostras:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} \quad \text{Equação 11}$$

onde \bar{X}_i é a média da i -ésima amostra, enquanto para σ_0 , caso esteja utilizando o gráfico de \bar{X} junto

com o de R, é:

$$\sigma_o = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Equação 12}$$

onde \bar{R} é a média aritmética dos m valores de R_i

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad \text{Equação 13}$$

Um processo pode estar fora de controle quando um ponto se encontra acima do limite de controle superior ou abaixo do limite de controle inferior, ou ainda, se os pontos seguem alguns padrões:

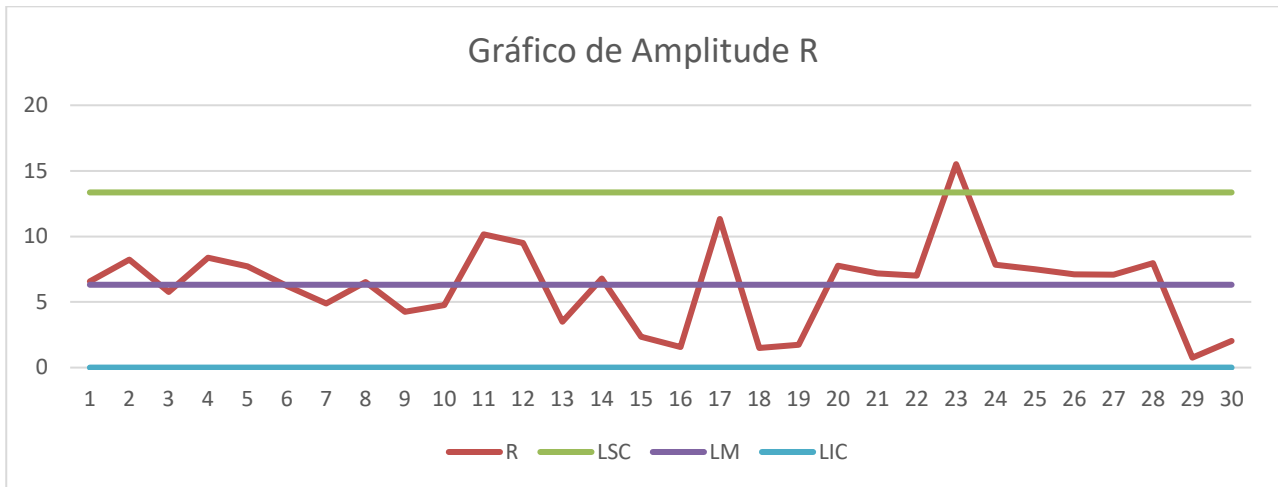
- Presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo da LM;
- Existência de seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
- Existência de quatorze pontos alternados em uma linha;
- Dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios padrão acima ou abaixo da linha central;
- Existência de quatro de cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio padrão acima ou abaixo da linha central;
- Quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio padrão da linha central;
- Existência de oito pontos consecutivos acima ou abaixo, em qualquer lateral, a mais de um desvio padrão da linha central.

Quando no processo for identificado algum desses padrões, pontos fora dos limites ou comportamentos não aleatórios, deve-se investigar se de fato o processo está fora de controle. Caso ele realmente esteja fora de controle, deve-se eliminar as causas especiais, como explica OLIVEIRA (2009).

Após a realização dos cálculos utilizando as funções para a construção dos gráficos de controle, obtém-se o gráfico de amplitude, Figura 7, e o gráfico de média, Figura 8, em que os limites superior e inferior encontrados para o gráfico de amplitude são respectivamente, 13,36 e 0, enquanto os limites superior e inferior para o gráfico de média são respectivamente, 220,13 e 212,85.

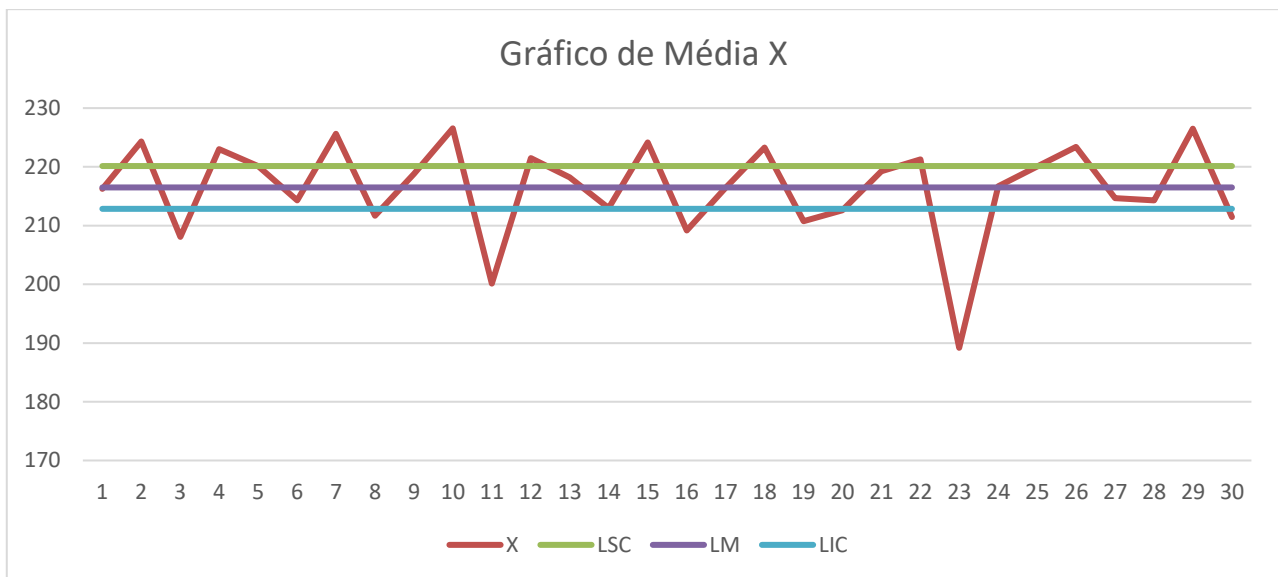
Com a observação das Figuras 7 e 8 identificam-se amostras fora dos limites encontrados, representando que o processo não está sob controle.

Figura 7 – Gráfico de Amplitude para volume de envase



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 8 – Gráfico de Média para volume de envase



Fonte: Produção do próprio autor

4.2 VERIFICAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL

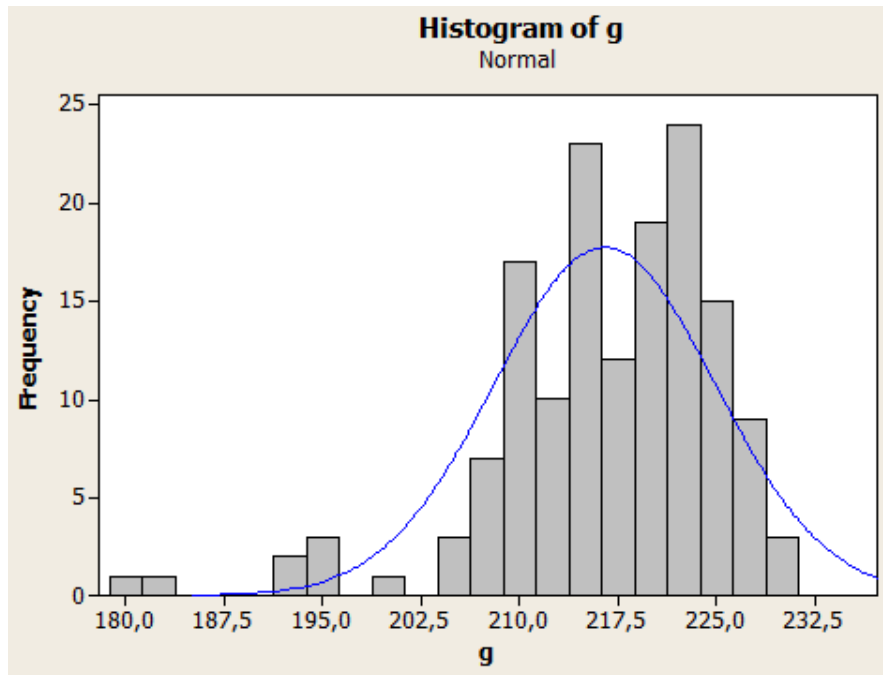
A distribuição normal de probabilidade é a distribuição mais importante do mundo estatístico. Muitas ferramentas foram desenvolvidas através deste modelo de medição contínua em vários fenômenos aleatórios de interesse, tais como peso, altura, maré, etc.

A distribuição normal é uma distribuição simétrica onde os valores extremos são menos

prováveis de ocorrer que os valores ao redor da média. Inúmeros fenômenos contínuos parecem seguir a distribuição normal ou aproximam-se dela. Como os gráficos de controle são uma ferramenta estatística, a distribuição de suas amostras deve seguir a distribuição normal.

Com o auxílio do software Minitab 16 versão acadêmica com 30 dias de utilização gratuita, verificou-se se os dados coletados na Tabela 2 possuem uma distribuição normal (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Histograma das amostras coletadas de acordo com o peso em gramas

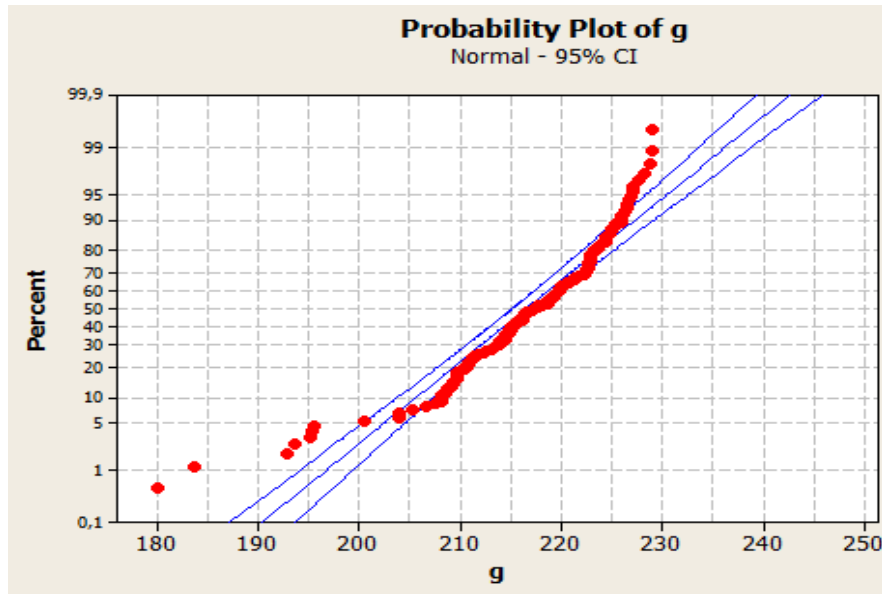


Fonte: Produção do próprio autor

Como pode-se observar da Figura 9, as amostras coletadas na Tabela 2 não seguem uma distribuição normal, pois existem amostras muito distantes do centro ou da média ($\bar{X} = 216,49$) e as maiores frequências de ocorrências não estão centradas na média.

Uma outra maneira de observar que a distribuição das amostras não está normal é a través da Figura 10, que apresenta um gráfico de *Probability Plot*, onde caso a distribuição seja normal os pontos ou amostras devem estar distribuídas em sua maioria em torno da linha central e entre as linhas limítrofes. No caso da Figura 10, observa-se que grande parte dos pontos estão acima ou abaixo das linhas limítrofes, o que demonstra uma falta de normalidade na distribuição das amostras.

Figura 10 – Gráfico de *Probability Plot* de acordo com o peso em gramas das amostras

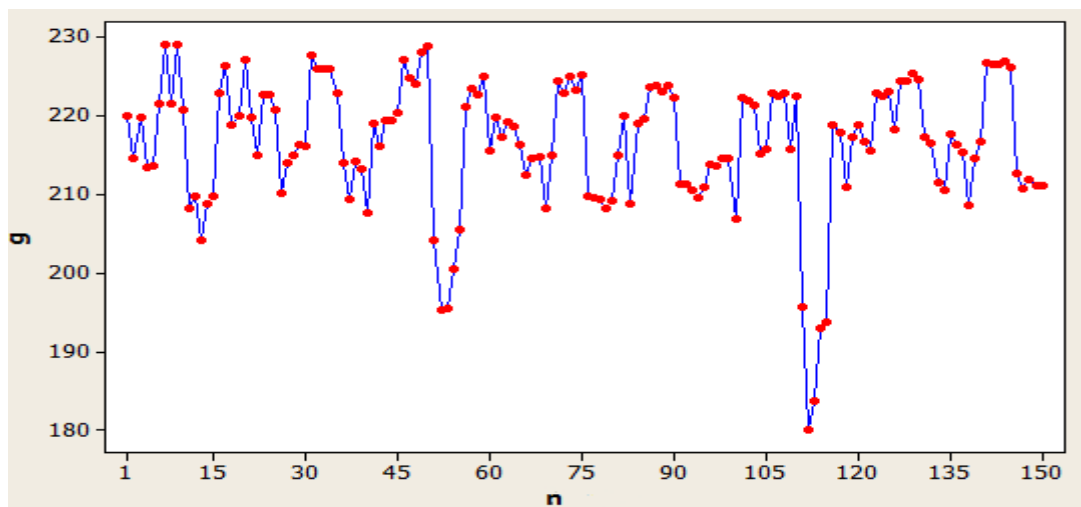


Fonte: Produção do próprio autor

Com a constatação de que as amostras não possuem uma distribuição normal, os gráficos de controle perdem a sua representatividade e importância para verificar e controlar o processo. Portanto, os gráficos da média e de amplitude que esse trabalho objetiva construir, tornam-se defasados e com muitos pontos fora dos limites, como pode-se observar nas Figuras 7 e 8.

Na Figura 11 pode-se observar a distribuição das 150 amostras coletadas no experimento e que muitas amostras se encontram distantes da média de 216,49g, o que também representa uma falta de controle e normalidade do equipamento.

Figura 11 – Gráfico dos valores das 150 amostras coletadas



Fonte: Produção do próprio autor

5 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O presente trabalho de graduação, com base em fundamentações teóricas, apresentou ferramentas de controle estatístico da qualidade que podem ser empregadas em processos produtivos de envase. Assim, controles futuros para o processo de envase pelo equipamento PREPAC 1000 terão um embasamento teórico e possuirão um estudo prévio.

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de controle estatístico no processo de envase em saquinho, pelo equipamento PREPAC 1000, para construção de gráficos de controle e posteriormente identificar se o processo encontra-se sob controle.

A escolha dos Gráficos de Controle para as amostras coletadas baseou-se puramente nas características da variável a ser estudada nas amostras, de forma que para a variável peso, em gramas, utilizou-se os gráficos de média e de amplitude (\bar{X} , R).

O estudo permitiu identificar que o processo de envase não se encontra sob controle, uma vez que a distribuição das amostras é não normal. Com a identificação de que a distribuição não é normal, torna-se inviável a aplicação de modelos estatísticos, como a utilização de gráficos de controle. Isso também demonstra que o processo sofre influências de causas especiais, o que torna a produção imprevisível e sem padronização.

Era esperado que as causas especiais tivessem sido eliminadas em testes anteriores, porém, observou-se que elas ainda estão presentes no processo. Torna-se ineficaz ou ineficiente, no atual momento, a utilização dos gráficos convencionais de controle ou de Shewhart, pois as condições para utilizá-los não são adequadas e eles não vão possuir muita representatividade.

Apesar das dificuldades para se atingir o objetivo proposto por esse trabalho, percebeu-se que o equipamento de envase está funcionando e produzindo os saquinhos, demandando alguns ajustes finos para sanar influências de causas especiais.

Uma possível extensão deste trabalho poderia ser a adoção de estudos de autocorrelação no processo, uma vez que as amostras podem possuir interdependência, mesmo que em grau pequeno. A autocorrelação pode estar afetando os dados e tendo influência para as variáveis estarem caindo fora nos limites superior e inferior dos gráficos de controle.

Finalmente, destaca-se que há espaço em aberto na literatura quando se trata de pesquisas relacionadas a envase de líquidos em saquinhos e principalmente a processos utilizando o equipamento PREPAC 1000. Sugere-se assim, como futura pesquisa, a determinação da influência da autocorrelação e de causas especiais em processos de envase em saquinhos.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, V. F. **Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 9.ed. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CNN **Ghana bags a handy new way to tackle plastic waste**. Disponível em: < <http://edition.cnn.com/2010/WORLD/africa/06/01/ghana.trash.bags.waste/index.html> >. Acesso em: 16 set. 2017.
- COSTA, A. F. B.; EPPRECHT E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334p.
- JUAN, J. M.; GRYNA, F. M. **Controle da qualidade**. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1993. v. 1.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 513p.
- OLIVEIRA, F. L. C. **Controle estatístico de qualidade: fundamentos teóricos e aplicações dos gráficos de controle**. 2009. Monografia (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Estatística, ICE, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.
- 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).
- ROTONDARO, R. G. Gerenciamento por processos. In: CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P (Org). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005, p.210-235.
- SIQUEIRA, L. G. P. **Controle estatístico de processos**. São Paulo: Editora Pioneira, 1997.
- SOMMER, W. A. **Apostila de introdução à estatística**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995. V.2
- WESTERN ELECTRIC COMPANY, Inc. **Statistical quality control handbook**. New York: Mack Printing Company, 1956.
- WOODALL, W. H.; MONTGOMERY, D.C. Research issues and ideas in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v. 31, n. 4, p. 376-386, 1999.