



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOSÉ FLÁVIO RIQUE JÚNIOR
CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE EM UM PROCESSO DE ENVASE
DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

JOÃO PESSOA – PB

2020

JOSÉ FLÁVIO RIQUE JÚNIOR

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE EM UM PROCESSO DE ENVASE
DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada a Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, área de concentração em Gestão da Produção, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Professor Dr. Rogério Santana Peruchi

JOÃO PESSOA – PB

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R594c Rique Júnior, José Flávio.

Controle estatístico da qualidade em um processo de
envase da indústria de alimentos / José Flávio Rique
Júnior. - João Pessoa, 2020.
87 f. : il.

Orientação: Rogério Santana Peruchi Peruchi.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Controle de qualidade. 2. Controle Estatístico do
Processo (CEP). 3. Cartas de Controle. 4. Matriz de
Priorização. 5. Análise de Concordância de Atributos.
I. Peruchi, Rogério Santana Peruchi. II. Título.

UFPB/BC

CDU 658.56(043)

TERMO DE APROVAÇÃO

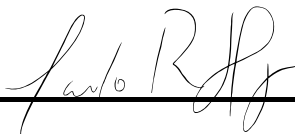
Dissertação intitulada **CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE EM UM PROCESSO DE ENVASE DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**, defendida por **JOSÉ FLÁVIO RIQUE JÚNIOR** junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção julgada e aprovada, em 28 de maio de 2020, pela seguinte banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Drº Rogério Santana Peruchi – Orientador

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Drº Paulo Rotella Junior – Examinador Interno

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Drº Robson Bruno Dutra Pereira – Examinador Externo

Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ)

JOÃO PESSOA - PB

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por me dar além da oportunidade de cursar uma Pós Graduação, a capacidade de poder concluí-la. Gostaria também de agradecer por Ele sempre me mostrar os melhores caminhos e me manter tranquilo nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Quero agradecer a minha família, em especial a minha mãe Socorro Dinoá, por sempre me incentivar a evoluir tanto espiritualmente como intelectualmente, e por sempre me dar todo o apoio necessário para a conclusão do Mestrado. Agradeço também em especial a minha avó, Cleuza Dinoá *in memorian*, por tudo que fez por mim em sua vida, ensinamentos e educação, e que pra sempre estará presente no meu coração.

Agradeço também a minha amiga e companheira de 13 anos Lidja por sempre estar ao meu lado e me apoiar em todos os momentos, e também a suas irmãs Lisângela e Liliane por me incentivarem nesse caminho acadêmico que está sendo construído. Agradeço também a meu amigo Ruan Eduardo por toda trajetória durante os 5 anos de graduação, e os dois anos de Mestrado cursados juntos, sempre me apoiando e me incentivando a buscar meu melhor. Agradeço também a minha amiga Débora Stepple, que mesmo não estando por perto, sempre me apoiou durante toda essa etapa. Por fim agradeço a meu amigo Guilherme Delgado por me incentivar cada vez mais a evoluir e ter sucesso na carreira acadêmica.

Por último, mas não menos importante, agradeço ao Professor Dr. Paulo Rotella pelas orientações e contribuições ao longo desses dois anos, ao Professor Dr. Robson Dutra pelas contribuições ao meu trabalho, e ao meu orientador e amigo Professor Dr. Rogério Santana por todas as orientações não só no campo da pesquisa, mas também orientações profissionais e pessoais ao longo desses dois anos, sempre com ética em suas ações e opiniões.

RESUMO

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma ferramenta efetiva no auxílio da redução da variabilidade e estabilização de processos. O CEP, com seus benefícios pode ser um importante aliado a indústria de alimentos, que por sua vez sofre com a alta variabilidade de seus processos. Essa alta variabilidade, se deve a diversos fatores, como por exemplo, sazonalidade da matéria prima e a alta perecibilidade dos produtos. Neste sentido, a taxa de itens defeituosos na indústria de alimentos pode ser elevada. O objetivo geral deste trabalho é reduzir a taxa de itens defeituosos de sachês em uma indústria de alimentos, através das cartas de controle por atributos, análise de capacidade, matriz de priorização e análise de concordância de atributos. Para isso primeiro foi realizado a medição do estado atual do processo, através do desenvolvimento de um método de implantação do Controle Estatístico do Processo no setor de envase de sachês de polpas de frutas, estruturado de acordo com a Fase I e a Fase II de operações de cartas de controle. Este método foi subdividido em 6 etapas, declaração do problema, plano de coleta de dados e cálculo dos limites de controle iniciais, análise da estabilidade, análise da capacidade, monitoramento *online*, e por fim, a decisão pelo fim do monitoramento do processo. Logo, foram coletados e analisados dados referentes a aproximadamente 2 meses de produção. Na Fase I, de cálculos de limites de controle, e análise de estabilidade e capacidade, foram encontradas causas especiais de variação (CE), e feita as correções e prevenções contra recorrência. Obteve-se o índice Defeitos Por Milhão (DPM) correspondente a 21170 produtos defeituosos a cada 1 milhão produzidos, equivalente a um processo de nível 2σ . Na Fase II, a fase de monitoramento *online*, com o efetivo uso das cartas de controle, e após as correções e prevenções das causas especiais (CE), foi alcançado a estabilidade do processo. Diante da taxa de defeitos correspondente a 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos, iniciou-se uma busca estruturada pelas causas dessa elevada taxa, sendo realizadas reuniões com os especialistas envolvidos no processo. Na primeira reunião com os especialistas foi realizado um *brainstorming*, onde cada suposta causa foi classificada de acordo com os 6M's do diagrama de Ishikawa, sendo elencadas 36 possíveis causas. Em seguida cada especialista alocou cada causa de acordo com as classificações de uma matriz de priorização. Após as alocações, foi utilizada a ferramenta estatística, análise de concordância de atributos para validar as classificações em relação a um padrão pré-estabelecido. Então foi realizado um filtro a partir da análise de concordância de atributos, através de critérios de priorização e eliminação de causas, até sobraem 12 causas possíveis dentre as 36 iniciais. Com as 12 causas foi realizado o plano de ação e estabelecido metas de curto e médio prazo para suas soluções. Com o cumprimento das soluções das causas estabelecidas a curto prazo, foi

possível realizar a validação do método repetindo todo procedimento inicial, calculando novos limites de controle e um novo DPM equivalente a 14978 itens defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Em comparação com o inicial, após a implementação do método, houve uma redução de 30% dos itens defeituosos.

Palavras Chave: Controle Estatístico do Processo (CEP); Cartas de Controle; Matriz de Priorização; Análise de Concordância de Atributos.

ABSTRACT

Statistical Process Control (SCP) is an effective tool in helping to reduce variability and stabilize processes. SCP, with its benefits, can be an important ally to the food industry, which in turn suffers from the high variability of its processes. This high variability is due to several factors, for example, seasonality of the raw material and the high perishability of the products, so, due to this, the rate of defective items in the food industry can be high. The general objective of this work is to reduce the rate of defective sachet items in a food industry, through control charts, capability analysis, prioritization matrix and attribute agreement analysis. For this first, the measurement of the current state of the process was carried out, through the development of a method of implantation of the Statistical Process Control in the sector of filling of fruit pulp sachets, structured according to Phase I and Phase II of operations of control charts. This method was subdivided into 6 steps, problem statement, data collection plan and calculation of the initial control limits, stability analysis, capability analysis, online monitoring, and finally, the decision to end the process monitoring. Soon, data related to approximately 2 months of production were collected and analyzed. In Phase I, of control limit calculations, and stability and capability analysis, Special Causes of Variation (SC) were found, and corrections and preventions against recurrence were made. The Defects Per Million (DPM) index was obtained, corresponding to 21170 defective products for every 1 million produced, equivalent to a 2σ level process. In Phase II, the online monitoring phase, with the effective use of the control charts, and after correcting and preventing Special Causes (SC), the stability of the process was achieved. In view of the defect rate corresponding to 21170 defective sachets for every 1 million produced, a structured search for the causes of this high rate began, with meetings held with the specialists involved in the process to search for these possible causes. In the first meeting with the experts, a brainstorming was carried out, where each alleged cause was classified according to the 6M's of the Ishikawa diagram, with 36 possible causes being listed. Then, each specialist allocated each cause according to the rankings of a prioritization matrix. After allocations, the statistical tool, attribute agreement analysis was used to validate the classifications against a pre-established standard. Then, a filter was carried out based on the analysis of attribute agreement, through criteria of prioritization and elimination of causes, until 12 possible causes remain among the initial 36. With the 12 causes, the action plan was established and short and medium term goals were established for their solutions. With the fulfillment of the solutions for the causes established in the short term, it was possible to carry out the validation of the method by repeating the entire initial procedure, calculating new control limits and a new DPM

equivalent to 14978 defective items for every 1 million produced. Compared to the initial one, after the implementation of the method, there was a 30% reduction in defective items

Keywords: Statistical Process Control (SCP); Control Charts; Prioritization Matrix; Attribute Agreement Analysis.

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 – Sequência para obtenção da amostra de artigos

Figura 2 – Integração dos Artigos com o DMAIC

ARTIGO 1

ESTUDOS DE FASE I E FASE II DE CARTAS DE CONTROLE DO TIPO P APLICADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Figura 1 - Procedimento de aplicação de Fase I e Fase II de Cartas de Controle

Figura 2 – Processo de envase de sachês de polpas de frutas

Figura 3 – Limites de Controle Iniciais

Figura 4 – Procedimento de identificação de CE no setor de envase de polpas de frutas

Figura 5 – Cálculo dos LCs sem as CE

Figura 6 – LCs para o Monitoramento Online

Figura 7 – Nível Sigma do Processo

Figura 8 – Comportamento Fase I e Fase II

Figura 9 – Monitoramento Online

ARTIGO 2

PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa

Figura 2 – Matriz Esforço Impacto

Figura 3 – Limites de Controle Baseline

Figura 4 – Zbench ou Nível Sigma

Figura 5 – Causas relacionadas na Matriz Esforço Impacto

Figura 6 – Gráfico de concordância Alto esforço x Baixo Impacto

Figura 7 – Gráfico de concordância Baixo esforço x Baixo Impacto

Figura 8 – Gráfico de concordância Alto esforço x Alto Impacto

Figura 9 – Gráfico de concordância Baixo esforço x Alto Impacto

Figura 10 – Carta de controle Inicial

Figura 11 – Carta de controle com limites fixos

Figura 12 – Nível Sigma do Processo

LISTA DE QUADROS

INTRODUÇÃO

Quadro 1 – Categorias e Palavras Chave do Artigo 1

Quadro 2 – Categorias e Pré requisitos de inclusão de trabalhos

Quadro 3 – Classificações da pesquisa, tipos e características

Quadro 4 – Categorias e Palavras Chaves do Artigo 2

ARTIGO 2

PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS

Quadro 1 – Causas relacionadas pelos especialistas

Quadro 2 – Possíveis causas para a taxa de defeitos

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

ESTUDOS DE FASE I E FASE II DE CARTAS DE CONTROLE DO TIPO P APLICADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Tabela 1 –Produção e Unidades Defeituosas

Tabela 2 –Produção e Unidades Defeituosas do Monitoramento Online

ARTIGO 2

PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS

Tabela 1 – Níveis de concordância de Kappa

Tabela 2 – Produção e Unidades defeituosas Pós Plano de Ação

LISTA DE SIGLAS

AAA - *Attribute Agreement Analysis*

AIAG – *Automotive Industry Action Group*

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

CE – Causas Especiais

CEP – Controle estatístico do processo

CEQ – Controle estatístico de qualidade

DOE – *Design of Experiments*

DMAIC Definir (Define), Medir (Measure), Analisar (Analyze), Melhorar (Improve) e Controlar (Control)

DPM – Defeitos por milhão

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

HACCP - *Hazard Analysis and Critical Control Point*

IT – Instrução de trabalho

LC – Limites de Controle

QFD – *Quality Function Deployment*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA	15
1.3 OBJETIVO	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 METODOLOGIA.....	16
1.5.1 Aspectos Metodológicos Artigo 1	17
1.5.2 Aspectos Metodológicos Artigo 2.....	21
1.5.3 Integração entre os artigos	23
1.5 DELIMITAÇÃO.....	24
1.6 ESTRUTURA DO TEXTO	25
2. ESTUDOS DE FASE I E FASE II DE CARTAS DE CONTROLE DO TIPO P APLICADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	26
2.1 INTRODUÇÃO	28
2.2 MÉTODO PROPOSTO	30
2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	34
2.4 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS.....	45
3. PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS	48
3.1 INTRODUÇÃO	50
3.2 MÉTODO PROPOSTO	53
3. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
3.3 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS.....	75
4. CONCLUSÕES	79
4.1 ATENDIMENTO AO OBJETIVO GERAL E OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	79
4.2 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS	81
REFERÊNCIAS.....	82

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados a introdução da pesquisa, o tema, a questão de pesquisa, o objetivo geral e os específicos, a justificativa do trabalho, os aspectos metodológicos, a delimitação do trabalho e a estrutura do texto.

1.1 TEMA

A qualidade dos produtos, serviços e processos cada vez mais deve ser tratada pelas empresas como uma prioridade, pois se destacando nesse aspecto, as empresas adquirem competitividade e se mantêm vivas no mercado. O gerenciamento da qualidade é uma técnica importante para conduzir tal prioridade, com ele é possível buscar o aprimoramento da qualidade e satisfazer a demanda dos clientes, gerando uma vantagem competitiva. Tais buscas são impulsionadas pela necessidade de sobrevivência das organizações (KUZAIMAN *et al.*, 2017).

De acordo com Ooi (2009), o gerenciamento da qualidade total, é uma técnica que possibilita melhorar o desempenho de uma organização se for efetivamente implantada, resultando em diversos benefícios como, redução de custos de produção e aumento de produtividade. Dito isto, melhorar a qualidade é um fator decisivo para qualquer organização, que busca, não só ampliar mas também, se manter em posições estratégicas e competitivas no mercado (MONTGOMERY, 2009).

Dentro desse universo da gestão da qualidade está inserido o controle estatístico da qualidade (CEQ), que foi desenvolvido em 1924 por Walter Andrew Shewhart, durante esse período Shewhart trabalhava na *Bell Telephone Laboratories*. O intuito era identificar quando o processo se afasta de sua estabilidade. Dentro de suas contribuições, Shewhart percebeu que a qualidade é antagônica a variabilidade, ou seja, quanto mais variável for seu processo, seus produtos e serviços irão carecer de qualidade.

De acordo com Montgomery (2009), qualidade é inversamente proporcional a variabilidade, e para alcançar a melhoria da qualidade, o único meio é a redução da variabilidade presente. Montgomery (2009) diz que existem três métodos estatísticos para alcançar a redução

da variabilidade presente, que são: O Controle Estatístico do Processo (CEP), o *Design of Experiments* (DOE) e a amostragem de aceitação.

O controle estatístico do processo, é uma metodologia que tem por finalidade a prevenção de defeitos e falhas, de monitorando de processos com determinadas ferramentas. De acordo com Lee et al. (2015), o controle estatístico do processo é um método que monitora e detecta causas especiais no processo.

Segundo Montgomery (2009) o CEP, é um método poderoso para resolução de problemas de variabilidade. Quando empregado, é capaz de estabilizar o processo e fazer com que opere com pouca variabilidade em torno dos valores nominais das características de qualidade.

As principais ferramentas do controle estatístico do processo, de acordo com Montgomery (2009) são: histograma, carta de pareto, diagrama de causa e efeito, diagrama de concentração de defeitos, gráficos de dispersão e cartas de controle. Para Montgomery (2009) a carta de controle (desenvolvida por W. Shewhart) é a ferramenta mais sofisticada dentre as 7 ferramentas.

Um ambiente de trabalho que possui bastante variabilidade e que pode ter grandes benefícios com o a implantação do CEP é a indústria de alimentos, seus processos são caracterizados por apresentar alta variabilidade. Uma das razões dessa alta variabilidade, é que se trata de um ambiente onde os produtos são bastante perecíveis e que devem seguir normas rígidas de controle de segurança alimentar.

A pesquisa de Lim et al. (2014), caracteriza a indústria de alimentos como um ambiente com alta variabilidade na qualidade da matéria-prima, técnicas de processamento diversas, efeitos de sazonalidade, dentre outras características que dificultam a implementação do CEP. Ainda na pesquisa de Lim et al. (2014) ele afirma que dentre as empresas de alimentos que implantaram o CEP, o benefício mais citado pelos gestores foi a redução de variabilidade, e também, que a implantação do CEP se tornou um facilitador para que as empresas passassem a ficar em conformidade com as regulamentações de segurança alimentar.

Na implantação do CEP na indústria de alimentos, Rai (2008) desenvolveu um estudo em que aplica algumas das ferramentas do CEP como as cartas de controle CUSUM e a carta $\bar{X}$, com o objetivo de resolver o problema da variação do peso em embalagens de chá. Augustin (2008) utiliza-se das ferramentas histograma, *box plot* e do gráfico de média móvel, para auxiliar na detecção de falhas no sistema de controle para detecção de lotes insatisfatórios, na contagem de organismos indesejáveis, no processamento de carnes. Özdemir (1997) através das

cartas de controle do tipo P, realizou um estudo para que o problema em relação ao processamento de avelãs durante o processo de craqueamento fosse resolvido.

Dito isso a indústria de alimentos se torna um ambiente desafiador e atrativo para a implantação do CEP e suas ferramentas.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Diante do que foi exposto anteriormente, observa-se a seguinte questão: Como facilitar a operacionalização e implementação do controle estatístico do processo, na indústria de alimentos? Visto que se trata de um setor de alta variabilidade e particularidades a depender dos produtos, processos e matérias primas envolvidas.

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é reduzir a taxa de itens defeituosos no processo de envase de sachês em uma indústria de alimentos, por meio de cartas de controle, análise de capacidade, matriz de priorização e análise de concordância de atributos.

Este objetivo geral será desdobrado nos objetivos específicos mostrados a seguir:

- I. Propor um método de implantação do controle estatístico do processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas de frutas;
- II. Garantir a estabilidade do processo de envase;
- III. Realizar o monitoramento *online* do processo;
- IV. Desenvolver um método de análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa;
- V. Utilizar a análise de concordância de atributos como ferramenta de análise quantitativa, com a finalidade de reduzir as subjetividades qualitativas.

1.4 JUSTIFICATIVA

A pesquisa de Lim et al. (2014), mostra a carência de trabalhos relacionados ao controle estatístico do processo na indústria de alimentos, e também que, existe uma lacuna a ser preenchida com trabalhos que desenvolvam um método que facilite e operacionalize a

implantação do CEP na indústria de alimentos. Dito isso, esse trabalho se propõe a preencher este viés, determinando um passo a passo a ser realizado para a implantação.

Lim (2014) diz que existe uma necessidade de trabalhos que melhorem a base de evidências que confirmem o sucesso da implementação do CEP na indústria de alimentos. O artigo 1, tem a finalidade de análise da estabilidade e capacidade do processo, e com a implementação das cartas de controle, índices como o Defeitos por Milhão (DPM) servirão como medidas de desempenho que confirmem o sucesso da implantação do CEP na indústria de alimentos após a etapa II, conforme será abordado no artigo 2.

Este trabalho mostra a importância da implantação do CEP na indústria de alimentos, com a etapa inicial (artigo I), em que se realiza uma análise da estabilidade e da capacidade do processo, pode-se a partir do índice DPM, ter uma métrica que no futuro comprove a implementação CEP. Na segunda etapa (artigo 2), o desenvolvimento de um método de análise e solução de problemas qualitativos por intermédio de uma ferramenta quantitativa, no caso a análise de concordância de atributos, ao final servirá como uma ação de feedback para a etapa 1, que otimizará e auxiliará a redução de itens defeituosos no processo. É importante frisar que, a análise de concordância de atributos comumente é utilizada na análise de sistemas de medição, e não como ferramenta e auxílio para solução de problemas de natureza qualitativa.

1.5 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os aspectos metodológicos empregados nos dois artigos feitos. No artigo 1, de título “ESTUDOS DE FASE I E FASE II DE CARTAS DE CONTROLE DO TIPO P APLICADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS”, cujo objetivo é propor um método de implantação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas e frutas, é apresentada uma breve caracterização da empresa. Posteriormente a revisão da literatura, palavras chaves utilizadas, como foi feita a exclusão de artigos que não eram de interesse, a classificação da pesquisa, quanto a sua natureza, quanto aos seus objetivos, aos seus procedimentos e do ponto de vista da abordagem do problema. Também como foi feita a coleta dos dados e os procedimentos e *software* utilizado para análise dos dados.

No artigo 2, “PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS”, o objetivo do trabalho é desenvolver um método de

análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa, baseada em análise de concordância de atributos. E da mesma forma que o primeiro artigo, também é apresentado como foi realizada a revisão da literatura, palavras chaves empregadas, critérios de inclusão e exclusão dos artigos, como foi avaliado a qualidade dos artigos, e o método utilizado para coleta e análise dos dados.

1.5.1 Aspectos Metodológicos Artigo 1

Neste tópico são apresentados os aspectos metodológicos do artigo 1, e foi subdividido em caracterização da empresa, revisão da literatura e obtenção da amostra, classificação da pesquisa e por último coleta e análise de dados.

1.5.1.1 Caracterização da empresa

A pesquisa foi realizada em uma indústria de alimentos, fabricante de polpas de frutas, o setor escolhido para ser realizada a pesquisa, foi o setor de envase de sachês de 100 g, última etapa para o produto final estar pronto. A empresa atende todo Nordeste e alguns estados do sudeste, e recentemente iniciou o processo para realizar exportações para os Estados Unidos.

1.5.1.2 Revisão da Literatura e obtenção da amostra

Para o artigo 1, que tem por objetivo propor um método de implantação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas e frutas, foi realizado uma revisão da literatura que serviu para dar embasamento ao artigo escrito, após definido o tema e os objetivos de pesquisa.

A definição das palavras chaves foi subdividida em duas categorias, indústria de alimentos e controle estatístico do processo. Diante disso, as seguintes palavras chaves foram definidas para a pesquisa nas bases de dados: “statistical process control”, “food industry”, “food”, “p-chart”, “control charts”, todas utilizadas conjuntamente com o operador booleano *AND*, *OR* e pesquisadas com a opção de tópicos. O Quadro 1 mostra as categorias e suas palavras chaves correspondentes.

Quadro 1 – Categorias e Palavras Chave do Artigo 1

Categorias	Palavras Chave
------------	----------------

Indústria de Alimentos	Food Industry
	Food
Controle Estatístico do Processo	Statistical Process Control
	P-Chart
	Control Chart

A pesquisa foi realizada nas bases de dados *Web of Science* e *Science direct*, por serem consideradas importantes, pois, as mesmas contêm trabalhos de diversas bases.

Após a escolha das palavras chaves, foram definidos pré-requisitos para a amostra. Os resultados obtidos com as palavras chaves, em ambas as bases de dados, foram filtrados por *Articles* e/ou *Reviews*. Foi definido também que na amostra, ficaria apenas trabalhos que estivessem no idioma inglês. Trabalhos que não cumprissem esses requisitos não seriam incluídos. Após todos esses filtros chegou-se a um total de 120 artigos para análise. Os critérios de inclusão estão presentes no Quadro 2.

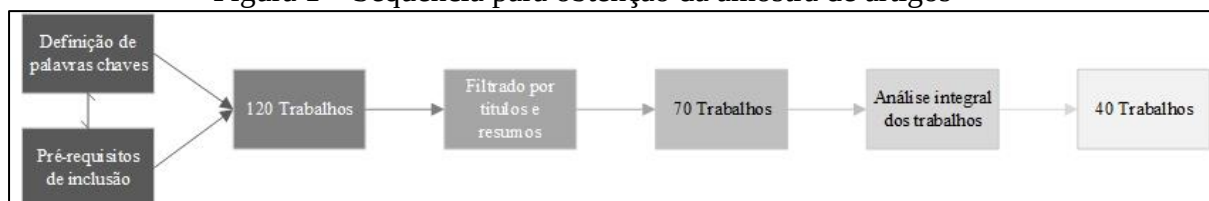
Quadro 2 – Categorias e Pré-requisitos de inclusão de trabalhos

Categoria	Pré-requisitos de Inclusão
Tipos de Documentos	Articles
	Reviews
Idiomas	Inglês

Para análise da amostra primeiramente foram filtrados os artigos por títulos e resumos, com isso restaram 70 trabalhos dos 120 iniciais. Dos 70 trabalhos restantes foi realizada a leitura integral dos textos, e por fim, restaram 40 trabalhos de interesse para a pesquisa.

Na Figura 1 está presente toda a sequência para obtenção e seleção dos trabalhos de interesse para a pesquisa realizada no artigo 1.

Figura 1 – Sequência para obtenção da amostra de artigos



1.5.1.3 Classificação da Pesquisa

Quanto ao tipo de pesquisa a ser feita, Provdanov (2013) diz que a pesquisa empírica, é realizada de maneira que possa transcrever de forma codificada a realidade social, ao qual o artigo 1 se enquadra.

De acordo com Provdanov (2013), existem três formas de classificação da pesquisa, que pode ser dividida quanto a sua natureza, quanto aos seus objetivos e quanto aos seus procedimentos. No Quadro 3, vemos as classificações das pesquisas e seus tipos e características baseado em (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

Quadro 3 – Classificações da pesquisa, tipos e características

Classificações da pesquisa	Tipos de pesquisa	Características
Quanto a Natureza	Básica	Cujo objetivo é gerar novos conhecimentos, sem previsão de aplicações práticas;
	Aplicada	O intuito é gerar conhecimentos que possam ter aplicações práticas direcionadas a problemas específicos;
Quanto aos objetivos	Exploratória	Objetiva levantar maiores informações a respeito dos assuntos investigados;
	Descritiva	Pesquisa que se limita a apenas descrever os fatos observados, sem que haja interferência neles (não há manipulação dos dados);
	Explicativa	A pesquisa explicativa tem por objetivo, explicar o porquê das coisas, através de análises e interpretações dos fenômenos observados;
Quanto aos procedimentos	Documental	Principal diferença entre a pesquisa bibliográfica é que a pesquisa documental se baseia em documentos que não receberam tratamentos analíticos;
	Bibliográfica	Pesquisa que é realizada a partir de material já publicado, consiste de algumas etapas como, escolha do tema e formulação do problema;

	Experimental	Pesquisa caracterizada por separar variáveis dependentes e controlar as variáveis independentes, de modo que influencie as dependentes, observando seus efeitos;
	Levantamento (Survey)	Se caracteriza pela interrogação direta das pessoas, através de algum questionário, com o objetivo de conhecer melhor seus comportamentos;
	Pesquisa de Campo	Objetiva obter informações a respeito do problema para o qual se procura uma resposta, observando fatos e fenômenos que ocorram espontaneamente em sua coleta de dados;
	Estudo de caso	Aplicação prática de conhecimentos para a solução do problema de pesquisa, onde releva-se o desenvolvimento de teorias;
	Pesquisa Ação	Quando o pesquisador se envolve na situação de maneira participativa ou cooperativa;
	Pesquisa Participante	Caracterizada pela participação dos pesquisadores com membros das situações investigadas;
	Pesquisa Ex-Post-Facto	Pesquisa no qual o pesquisador não tem controle sob as variáveis independentes, ou seja, pesquisa que analisa situações que acontecem naturalmente, estudo de um fenômeno já ocorrido;

Dito isso, a pesquisa do artigo 1, é caracterizada quanto a sua natureza como uma pesquisa aplicada, quanto aos seus objetivos, como uma pesquisa exploratória, e quanto a natureza de seus procedimentos, pode ser classificada como um estudo de caso.

Segundo Provdanov (2013), a pesquisa pode ainda ser classificada pelo ponto de vista de abordagem do problema, podendo ser qualitativa e quantitativa, onde a qualitativa não requer o uso de métodos e técnicas matemáticas, a fonte de dados para esta pesquisa é o ambiente, já a pesquisa quantitativa, requer o uso de técnicas estatísticas e pode quantificar todas as informações obtidas. Sendo assim a pesquisa do artigo 1, pode ser considerada uma pesquisa quantitativa.

1.5.1.4 Coleta e Análise dos dados

A coleta dos dados realizado no artigo 1, foi realizada pelo supervisor de produção da indústria no processo de envase. Os dados coletados são compostos de informações úteis que irão auxiliar a execução da análise, informações como, número de sachês produzidos e número de produtos com defeitos em um dia de produção. Os dados foram retirados diretamente da máquina empacotadora estudada, que produz pacotes de sachês de polpas de frutas de 100 g, de diversos sabores.

Cada sachê embalado é contabilizado pela máquina, e deve obedecer a uma especificação de peso, entre 98 g e 105 g, segundo a Instrução de Trabalho (IT) autorizada pelo ministério da agricultura. Tais especificações são ajustadas previamente na máquina pelo chefe da manutenção. Caso a máquina empacote algum produto fora das especificações, ou seja, abaixo de 98 g ou acima de 105 g, a máquina automaticamente aciona o dispositivo de segurança que rejeita o produto fora das especificações e o retira da linha de produção, para que se possa tomar as providências e aquele sachê não vá para o mercado consumidor com o peso fora dos limites. Cada pacote rejeitado é contabilizado automaticamente pela máquina, e ao final do dia, ela fornece um relatório digital sobre o que foi produzido e o que foi rejeitado, tanto acima dos 105 g, como abaixo dos 98 g. Porém para o artigo 1, os dados que interessam, são apenas o total produzido e o total de produtos rejeitados.

A ferramenta do controle estatístico de qualidade mais indicada para a análise dos dados e para cumprir o objetivo do trabalho, é a carta de controle do tipo P, pois os dados coletados, são variáveis do tipo atributos, e que segundo Montgomery (2009) para que se realize uma boa análise, é necessário que se colete no mínimo de 20 amostras para essa carta de controle, ou seja, no caso estudado, no mínimo 20 dias de produção. As análises foram realizadas de acordo com as equações apresentadas no trabalho.

1.5.2 Aspectos Metodológicos Artigo 2

Neste tópico são apresentados os aspectos metodológicos do artigo 2. A empresa estudada é a mesma referente ao artigo 1, referente ao tópico 1.5.1.1. Esta seção está subdividida em revisão da literatura e obtenção da amostra, classificação da pesquisa e por último coleta e análise de dados.

1.5.2.1 Revisão da literatura e obtenção da amostra

A revisão da literatura realizada para o artigo 2, também foi feita na base de dados *Web of Science* e *Science Direct*. O artigo 2 tem como objetivo desenvolver um método de análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa, baseada em análise de concordância de atributos.

A definição das palavras chaves foi subdividida em duas categorias, indústria de alimentos e ferramentas qualitativas. A técnica quantitativa a ser utilizada é a Análise de concordância de atributos, assim, para obtenção da amostra também foi utilizado como palavra chave. As categorias e palavras chaves utilizadas são relacionadas no Quadro 4 a seguir. As palavras foram pesquisadas com o operador booleano *OR*.

Quadro 4 – Categorias e Palavras Chaves do Artigo 2

Categorias	Palavras Chave
Análise de Concordância por Atributos	Attribute Agreement Analysis
Indústria de Alimentos	Food Industry
	Food
Ferramentas Qualitativas	Fmea
	Gut Matrix
	Priority Matrix
	Quality Function Deployment
	Analytic Hierarchy Process

Apenas foram considerados artigos classificados em *Articles* e/ou *Reviews*. Após realizada as pesquisas foram encontrados 53 trabalhos para análise. Em seguida realizou-se o filtro por títulos e resumos, restando apenas 30 trabalhos para leitura integral. Por fim, após as leituras foram utilizados para a pesquisa 22 trabalhos relevantes.

1.5.2.2 Classificação da Pesquisa

De acordo com o Quadro 3, a pesquisa realizada neste trabalho com relação a sua natureza é uma pesquisa aplicada, e em relação aos seus objetivos, uma pesquisa exploratória. Em relação aos procedimentos, de acordo com o Quadro 3, se caracteriza por uma pesquisa de maneira geral como um estudo de caso.

Segundo as classificações de Provdanov (2013) essa pesquisa pode ser classificada como qualitativa e quantitativa, pois foram utilizados métodos qualitativos e em determinado momento foi necessário o uso de técnicas estatísticas para a realização do trabalho completo.

1.5.2.3 Coleta e Análise de Dados

A coletada de dados realizada para o artigo 2, foi feita pelo próprio pesquisador. Foram reunidos os especialistas envolvidos no processo de envase de sachê de polpas de frutas. Duas engenheiras de alimentos, o estoquista, o chefe da manutenção, um técnico em mecânica e o supervisor de produção. Foram realizadas reuniões do tipo *brainstorming* com eles para levantamento de dados necessários para o prosseguimento da pesquisa. De posse desses dados, foi realizada nova reunião para alocação de causas do problema em questão em uma matriz de priorização. Essa matriz já era amplamente utilizada por eles para resolução de problemas internos. De posse dos dados, foram realizadas as análises estatísticas de acordo com as equações apresentadas na seção 3.2.

1.5.3 Integração entre os artigos

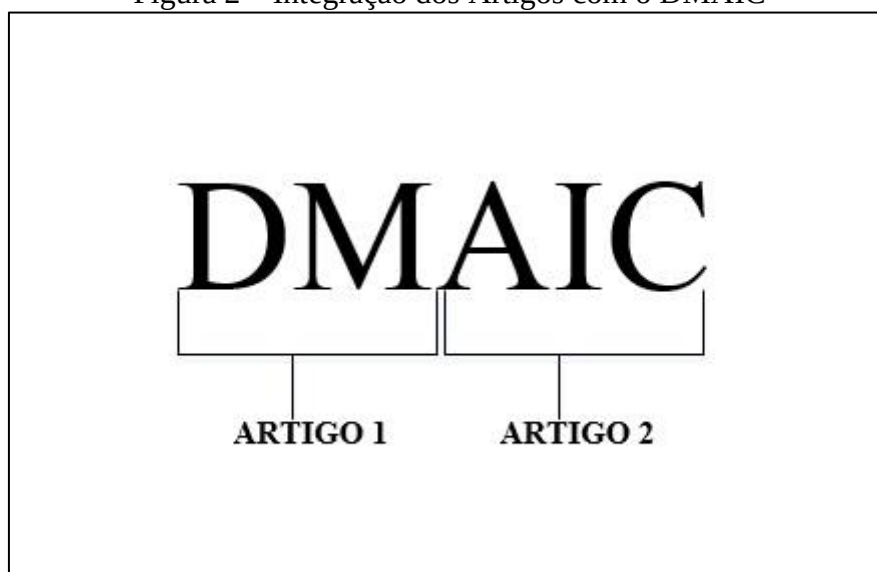
Este trabalho está estruturado em 2 artigos, e a condução da pesquisa foi feita de forma estruturada seguindo os passos do DMAIC, que segundo Montgomery (2009), é uma excelente ferramenta para conduzir projetos de melhoria da qualidade. O DMAIC é uma sigla que significa, *Define, Measure, Analysis, Improve, e Control*, correspondente aos 5 passos da condução do projeto de melhoria, que serão explicados a seguir de acordo com Montgomery (2009):

- *Define* (Definir): Este primeiro passo corresponde a definição do problema, descrever com detalhes qual o problema a ser resolvido no projeto e também qual o processo está relacionado com o problema em questão;
- *Measure* (Medir): O segundo passo está relacionado a fase de medir, e tem por objetivo avaliar e entender o estado atual do processo;
- *Analysis* (Análise): A análise no DMAIC se inicia após a fase de medição, onde o objetivo é utilizar os dados coletados no segundo passo, para investigar e identificar as relações de causa e efeito no processo;

- *Improve* (Melhoria): Nesta etapa são buscadas soluções que possam ter impacto na solução do problema em questão, além da verificação dos resultados obtidos após a implementação das soluções encontradas;
- *Control* (Controle): O objetivo desta etapa é entregar o processo com alguma melhoria realizada, e também com procedimentos que facilitem manter o que foi alcançado.

Como foi dito este trabalho foi conduzido de acordo com a estrutura do DMAIC, onde as fases de *Define* e *Measure*, correspondentes aos passos 1 e 2 foram realizadas no artigo 1. E as fases de *Analysis*, *Improve* e *Control*, passos 3, 4 e 5 respectivamente, foram realizadas no artigo 2, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Integração dos Artigos com o DMAIC



1.5 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa de maneira geral foi realizada em uma fábrica de polpas de frutas no estado da Paraíba, e limitou-se ao estudo apenas no setor de envase de sachês.

Para o primeiro artigo, na revisão da literatura, o trabalho limitou-se ao estudo de pesquisas realizadas em indústrias de alimentos de maneira geral, associado ao controle estatístico do processo. Mais especificamente a aplicações de diversas ferramentas na indústria de alimentos, mas com foco em cartas de controle.

Para o segundo artigo, foi realizada uma pesquisa mais abrangente de técnicas qualitativas, não apenas na indústria de alimentos, mas em aplicações em diversos campos de estudo. Assim como a revisão da literatura sobre a análise de concordância por atributos, não

estando limitada apenas a indústria de alimentos. Vale destacar que ações para o plano de ação foram realizadas parcialmente, uma das razões é o crescimento da pandemia causada pelo Covid-19.

1.6 ESTRUTURA DO TEXTO

O trabalho está organizado em 4 capítulos principais, onde no capítulo 2 encontra-se o primeiro artigo, como falado anteriormente, referente aos passos de definir e medir do DMAIC, onde é feita a definição do problema e uma medição do estado atual do processo. No capítulo 3 encontra-se o segundo artigo, referente as fases de análise, melhoria e controle do DMAIC, neste capítulo são buscadas soluções para o problema em questão, e depois é verificada a eficácia dessas soluções. E por último, no capítulo 4 as conclusões gerais do trabalho, onde é realizado uma verificação se os objetivos foram atendidos, as contribuições da pesquisa e sugestões de pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1

2. ESTUDOS DE FASE I E FASE II DE CARTAS DE CONTROLE DO TIPO P APLICADOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Resumo

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma ferramenta efetiva no auxílio da redução da variabilidade e estabilização de processos. O CEP, com seus benefícios pode ser um importante aliado à indústria de alimentos, que por sua vez sofre com a alta variabilidade de seus processos. A alta variabilidade dos processos na indústria de alimentos, se deve a diversos fatores, como por exemplo, sazonalidade da matéria prima e a alta perecibilidade dos produtos. Então, este artigo tem por objetivo propor um método de implantação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas e frutas. Para isso, será realizado o estudo de Fase I e Fase II de cartas de controle do tipo P. Logo, foram coletados e analisados dados referentes a aproximadamente 2 meses de produção. Na Fase I foram encontradas Causas Especiais de variação, e feita as correções e prevenções contra recorrência. Obteve-se o índice Defeitos Por Milhão (DPM) correspondente a 21170 produtos defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Esse DPM encontrado equivale a um processo de nível 2σ . Na Fase II, com o efetivo uso das cartas de controle, e após as correções e prevenções das Causas Especiais de variação, o processo se manteve estável.

Palavras Chave: Controle Estatístico do Processo (CEP), Cartas de Controle, Indústria de Alimentos.

PHASE I AND PHASE II STUDIES OF TYPE P CONTROL CHARTS APPLIED IN THE FOOD INDUSTRY

Abstract

Statistical Process Control (SPC) is an effective tool in helping to reduce variability and stabilize processes. The SPC, with its benefits can be an important ally to the food industry, which in turn suffers from the high variability of its processes. The high variability of processes in the food industry is due to several factors, such as the seasonality of the raw material and the high perishability of the products. So, this article aims to propose a method of implementing Statistical Process Control in a food industry in the filling of pulp and fruit sachets. For this, the study of Phase I and Phase II of type P control cards will be carried out. Therefore, data related to approximately 2 months of production were collected and analyzed. In Phase I, Special Causes of variation were found, and corrections and preventions against recurrence were made. The Defects Per Million (DPM) index was obtained, corresponding to 21170 defective products for every 1 million produced. This DPM found is equivalent to a level 2σ process. In Phase II, with the effective use of the control charts, and after correcting and preventing the Special Causes of variation, the process remained stable.

Keywords: Statistical Process Control (SPC), Control Charts, Food Industry

2.1 INTRODUÇÃO

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma técnica que auxilia o controle de variação dos processos, mas também, é eficiente para resolução de problemas. Com isso é possível detectar causas de variação, e padronizar os processos, auxiliando o seu planejamento e o seu monitoramento. Com a utilização de ferramentas do CEP, como por exemplo, o uso de gráficos de controle, é possível fornecer informações como a capacidade e a estabilidade do processo produtivo (PABLE *et al.*, 2010).

O CEP é uma ferramenta bastante útil para redução de variabilidade de processos dos mais diversos. A indústria de alimentos, possui uma característica de apresentar alta variabilidade em seus processos e o CEP pode auxiliar bastante neste aspecto. A pesquisa de Lim *et al.* (2014) mostra que os benefícios na implantação do CEP no setor alimentício são a redução de variabilidade, melhoria no controle de segurança alimentar e um melhor conhecimento dos empresários sobre a consequente redução de custos. Wang (2019) afirma que o monitoramento estatístico das características de qualidade do processo é fundamental. De acordo com Hayes *et al.* (1997), a implantação do CEP na indústria de alimentos está atrelada as normas de segurança alimentar e está integrada ao *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP). O HACCP é um documento básico de todo um sistema estruturado, que tem por objetivo gerenciar a segurança alimentar, no que envolve toda parte de manipulação e preparação dos alimentos (DZWOLAK, 2019).

A aplicação do CEP na indústria de alimentos é utilizada para diferentes objetivos, utilizando-se de diferentes técnicas para resolução de problemas dos mais variados. Como por exemplo o estudo de Ebadi (2019), que através das cartas de controle monitora os tempos de serviços em um restaurante do tipo *fast food*. As cartas de controle segundo Bizuneh (2019) indicam se um processo está estável dentro de uma determinada faixa de variação. A pesquisa de Negiz *et al.* (1998) estudou a variação de temperatura no processo de pasteurização de laticínios.

Com o objetivo de caracterizar o processo de cozimento de biscoitos feitos à base de trigo Srikaeo *et al.* (2005), utilizaram técnicas do CEP para cumprir tal objetivo. As técnicas utilizadas foram, cartas de controle, estudos de capacidade do processo, histogramas dentre outras. Com um estudo voltado para o controle do peso de embalagens de peixes, Grigg (1998) utilizaram as cartas de controle do tipo $\bar{X}$ e R para solucionar o problema da rejeição desnecessária de embalagens causado pelo verificador de peso.

O trabalho de Nguyen et al. (2019) tem por objetivo investigar um novo tipo de gráfico de controle, o VSI EWMA-RZ, e demonstra com uma aplicação na indústria de alimentos na fabricação de receitas. Uma das receitas possui como ingredientes principais sementes de abóbora e de linhaça. Os fabricantes desejavam realizar o monitoramento online do processo para resolver os problemas de dosagem da máquina. Como resultado o gráfico de controle mostra que o processo está controlável até a amostra 10. Então foi possível, realizar correções imediatas para restaurar o processo a condições de controle.

Afim de avaliar a estabilidade do processo de cozimento de linguças calabresas defumadas, De Oliveira Silva et al. (2019), observou parâmetros como velocidade do ar e temperatura interna do defumador. Foram desenvolvidas cartas de controle e ações foram tomadas para melhoria do processo. Ao final observou-se uma redução de 0,27% na variabilidade do processo.

A pesquisa de Hung (2011), investiga o problema levantado pelos clientes em uma padaria, onde eles afirmavam que os produtos estavam apresentando problemas como o encolhimento, presença de materiais estranhos e quebradiços. A característica estudada aqui foi o peso, e foi utilizada para a investigação e resolução do problema as ferramentas do CEP como, Diagrama de Pareto, Diagrama de árvore, Mapeamento de processos, Diagrama de Ishikawa, $\bar{X}$ e R chart. Aliado ao controle estatístico do processo, outras ferramentas da qualidade como o Seis Sigma e o *Design of Experiments* foram utilizados. Foi alcançado uma redução de 70% dos problemas de encolhimento num período de 6 meses.

Também em uma padaria, porém com estudo realizado em pacotes de biscoitos, Gauri (2003) investiga a perda de lucro devido as embalagens saírem acima do peso pré-estabelecido. As características da qualidade estudadas foram o peso e a espessura do biscoito. Utilizando as ferramentas, Diagrama de Pareto, gráficos de amplitude móvel e gráfico de dispersão, os resultados alcançados foram de reduções de 10% de perdas com embalagens abaixo do peso, e de 1,2 % acima do peso, e com um aumento de rendimento de 48,6%.

Özdemir (1997) investiga na produção de nozes, o problema do produto sair danificado e quebradiço, mais especificamente no processo chamado de craqueamento. Foram utilizadas as cartas de controle do tipo p , além disso foi utilizado o *DOE* para auxiliar a resolução do problema. Com os programas de qualidade e as ferramentas utilizadas foi possível detectar a necessidade de reajuste dos equipamentos e de problemas operacionais.

Lim et al. (2014) em sua pesquisa, mostra que a indústria de alimentos carece de trabalhos que apliquem o CEP em seu processo produtivo. Vining et al. (2016) complementa

dizendo que a indústria de alimentos é uma área de aplicação da engenharia da qualidade potencialmente desafiadora. Vining et al. (2016) diz que os métodos modernos para a melhoria dos processos têm falhado na tentativa de resolver os problemas dos produtores de alimentos. Como sugestões de pesquisas futuras Lim et al. (2014) dizem que existe uma lacuna para trabalhos que desenvolvam um método prático que facilite e operacionalize a implantação do controle estatístico do processo na indústria de alimentos.

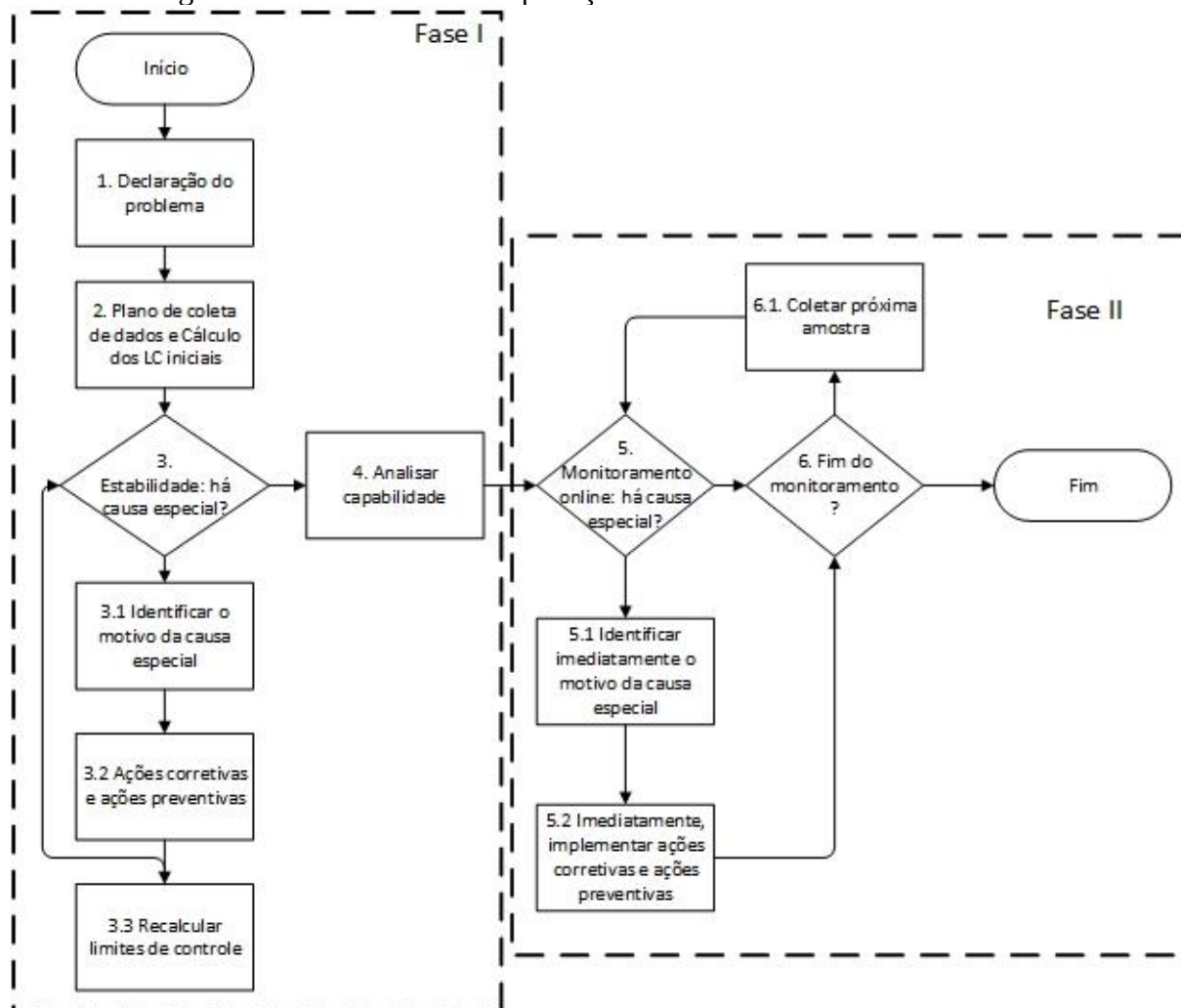
Diante do exposto até então, é visto que a literatura carece de trabalhos que relacionem o controle estatístico do processo e a indústria de alimentos, principalmente a respeito de cartas de controle do tipo P e estudos de Fase I e Fase II. Então, este artigo tem por objetivo propor um método de implantação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas e frutas. Para isso, será realizado o estudo de Fase I e Fase II de cartas de controle do tipo P. Trazendo assim uma contribuição científica para a literatura.

Este trabalho está dividido em 4 seções, introdução, método proposto, análise dos resultados, e por fim, conclusões. Na seção 2, de método proposto, é abordado teoricamente o passo a passo a ser aplicado para a implantação do método, abordando cada etapa de implantação. Na seção 3, os resultados são mostrados, seguindo a sequência de passos da seção anterior, com suas respectivas análises. Na seção 4, nas conclusões, será discutido os principais resultados alcançados e suas possíveis razões e conclusões, e para finalizar as sugestões de pesquisas futuras.

2.2 MÉTODO PROPOSTO

Esta proposta é uma adaptação das recomendações de desenvolvimento de operação de cartas de controle por atributos de Montgomery (2009) e do manual da *Automotive Industry Action Group* – AIAG (2005). Na Figura I é apresentado o método proposto para a implantação das cartas de controle na indústria de alimentos. Como também a divisão das etapas da Fase I e da Fase II do estudo de cartas de controle.

Figura 1 – Procedimento de aplicação de Fase I e Fase II de Cartas de Controle



Como visto na Figura 1, o método proposto está dividido em 6 passos sequenciais, a saber:

1. Declaração do problema;
2. Plano de coleta de dados e cálculo dos limites de controle iniciais;
3. Análise da estabilidade;
4. Análise da capacidade do processo;
5. Monitoramento online;
6. Decisão pelo fim do monitoramento.

Os estudos de carta de controle, podem ser divididos em Fase I e Fase II, como mostra a Figura 1. Na Fase I, segundo Montgomery (2009) é realizada uma análise retrospectiva dos dados que servem basicamente para definir o estado atual da produção. Também na fase I, são

definidos os limites de controle que poderão ser usados para o monitoramento futuro do processo, que consiste na Fase II.

O **primeiro passo** do método seria a declaração do problema, neste define-se qual o problema a ser estudado, e quais as características de qualidade envolvidas no processo analisado.

O segundo **passo** seria o planejamento e a coleta de dados e cálculo dos limites de controle iniciais. De acordo com o manual da AIAG (2005), para se construir uma carta de controle, deve-se coletar amostras de dados que representem bem o processo estudado. Quanto maior for a amostra, maior será a chance de detectar pequenas mudanças no processo, entretanto maior o custo de controle/inspeção. Segundo Montgomery (2009) para a construção da carta de controle é necessário a coleta de:

- I. Pelo menos 20 subgrupos (amostras, ou dias de produção);
- II. n (representa o número de embalagens por dia, que pode variar);
- III. h (intervalo de tempo entre coleta de amostras, neste caso por dia);
- IV. $k = 3$ (fator de abertura da carta de controle em relação ao desvio padrão, normalmente utiliza-se $k = 3$).

Depois calcula-se os limites de controle iniciais. Os Limites de Controle (LC) servem como referências para definir se o processo está estável, onde a proporções de defeituosas das amostras coletadas são plotadas juntamente aos limites. Esses limites de controle são o que determinam, segundo a AIAG (2005), uma faixa de intervalo de valores em que a estatística de controle deve estar presente.

Para cartas de controle do tipo p , os limites de controle são calculados utilizando as equações 1, 2 e 3, que representam o limite superior (UCL), *center line* ($\bar{P}$), e limite inferior (LCL), respectivamente.

$$UCL = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{ni}}; \quad (1)$$

$$\bar{P}; \quad (2)$$

$$LSL = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{ni}}; \quad (3)$$

Onde: $Pi = \frac{Di}{n(i)}$ e (4)

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i} . \quad (5)$$

Depois de calculado os limites de controle iniciais, deve-se analisar a estabilidade do processo, que seria o **terceiro passo**. Como dito anteriormente, se o processo for estável, existe uma grande probabilidade de que, para qualquer amostra do subgrupo, a estatística de controle irá cair dentro da faixa de valores estabelecida pelos limites de controle. De acordo com a AIAG (2005), caso isso não ocorra, isso é um indicativo de que podem existir causas especiais de variação (CE). Caso exista causa especial, é recomendado seguir alguns passos descritos a seguir:

- I. Se houver Causa Especial (CE), investigar o motivo;
- II. Corrigir CE e prevenir contra recorrência;
- III. Recalcular Limites de Controle;
- IV. Repetir passos (I) - (III) até que carta não tenha CE no cálculo dos LC.

Realizado o passo 3, o **quarto passo** seria a análise de capacidade do processo. Para determinar se um processo é capaz ou não é comum utilizar índices que indiquem esse fator. Segundo Montgomery (2009) é corriqueiro utilizar uma métrica chamada Defeitos Por Milhão (DPM) ou Partes Por Milhão (PPM) de peças fabricadas, para indicar a capacidade do processo em dados do tipo atributos. O DPM é obtido multiplicando a proporção de itens defeituosos P , encontrado nos cálculos de limite de controle, por 10^6 , através da equação 6.

$$DPM = P * 10^6; \quad (6)$$

Assim como o DPM, podemos também incluir outro índice referente a capacidade do processo, o nível sigma. O nível sigma (Z_{bench}) é obtido através da porcentagem de itens defeituosos, em uma curval normal padronizada $N(0,1)$, unilateral a direita.

O **quinto passo** do método proposto, seria o monitoramento *online*. De acordo com Montgomery (2009), o estudo de Fase I de cartas de controle consiste em um estudo retrospectivo de dados analisados. São definidos os limites de controle e é estabelecido se o processo está sob controle estatístico. Na Fase II trabalha-se com limites estabelecidos na Fase I, usando limites de controle definidos para monitorar a produção futura. Essa fase tem objetivo de monitorar em tempo real o processo e realizar as mudanças assim que detectados os problemas, caracterizando o monitoramento *online*. Diferente da Fase I, que tem por objetivo estabelecer os limites de controle.

E por último, o **sexto passo**, seria a decisão pelo fim do monitoramento online. Esse passo, vai depender de diversos fatores no processo. Como por exemplo, a decisão por executar

alguma melhoria, caso isso ocorra, é necessário realizar todo o procedimento novamente, e para isso finalizar o monitoramento online.

2.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como visto no método proposto, o **primeiro passo** seria da declaração do problema. O problema consiste na variação do peso em sachês de polpas de frutas em uma indústria de alimentos na Paraíba. O processo de envase de sachês é o último para que o produto final fique pronto, e é nele em que se encontra o problema. Cada sachê envasado sofre uma variação em seu peso, devendo estar dentro dos limites estabelecidos previamente pelo setor técnico.

O processo se passa em uma máquina do tipo envasadora. A máquina contém um dispositivo de controle de peso que é ajustado previamente pelo chefe de manutenção. Caso o sachê tenha menos que 98 g, ou mais que 105 g, a máquina automaticamente descarta o sachê e esse sachê descartado é classificado como defeituoso. Esse controle é realizado durante todo o processo, ou seja, a cada sachê de polpa produzido. O processo pode ser melhor visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Processo de envase de sachês de polpas de frutas



Diante do contexto apresentado, inicialmente será executada a Fase I do estudo de cartas de controle. Foi selecionado então a ferramenta de cartas de controle por atributos, do tipo p, por se tratar de um problema com dados do tipo atributos.

A coleta de dados foi realizada pelo do supervisor de produção e os dados são obtidos na própria máquina. Antes do início da produção a máquina é zerada, e ao final da produção, é extraída informações de quantos sachês foram produzidos, e quantos sachês foram rejeitados. Devido a não conformidade do peso, os sachês que foram rejeitados são classificados como defeituosos. Foram coletadas 30 amostras, o que equivale a 30 dias de produção mostrados na Tabela 1.

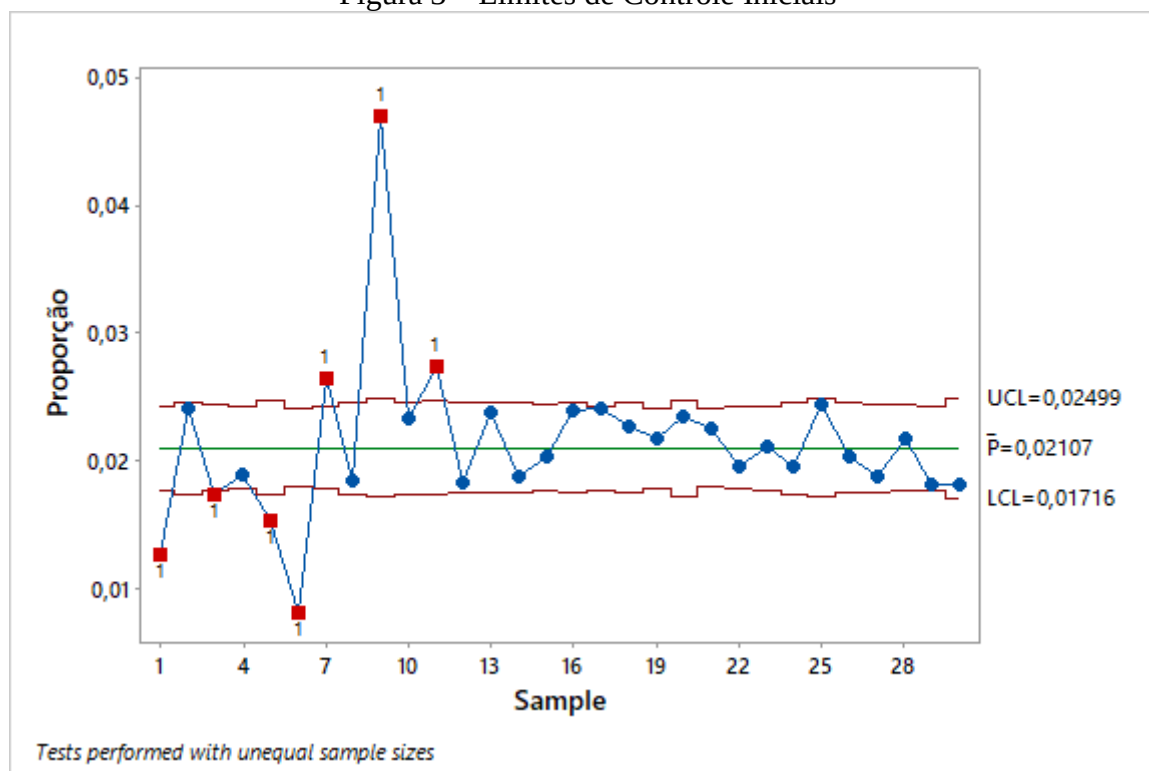
Tabela 1 –Produção e Unidades Defeituosas

AMOSTRA	PRODUZIDO (SACHÊS) n(i)	UNIDADES DEFEITUOSAS (SACHÊS) (Di)
1	17074	217
2	14143	341
3	16034	279
4	18431	349
5	14089	216
6	20591	168
7	18012	478
8	14250	264
9	12590	592
10	14230	332
11	13860	380
12	14735	270
13	15322	365
14	14552	275
15	16220	332
16	15360	368
17	17100	413
18	15145	345
19	18952	413
20	13222	312
21	19256	435
22	18110	354

23	17332	368
24	14235	280
25	12422	303
26	15154	310
27	15842	298
28	16249	354
29	17250	313
30	12125	221

Com os dados de produção coletados, foi realizada a análise inicial, com a ajuda do software minitab 17. A partir disso, executou-se os comandos para identificar quais são os limites de controle iniciais e se há a presença de causas especiais. Com a coleta de dados e os cálculos dos limites de controle iniciais, realizamos o **segundo passo** e na Figura 3 são apresentados os resultados.

Figura 3 – Limites de Controle Iniciais



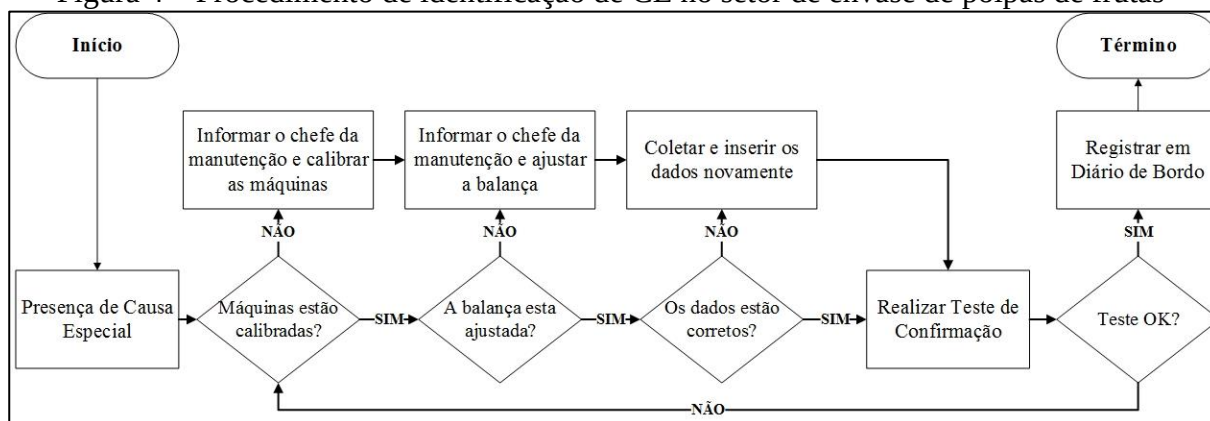
Pela Figura 3, analisamos a estabilidade do processo, que seria o **terceiro passo**. Pode-se notar a presença de Causas Especiais (CE) de variação nas amostras 1, 3, 5, 6, 7, 9 e 11. Sendo

assim é necessário um novo cálculo de limites de controles sem considerar a presença das causas especiais de variação.

Na presença de Causas Especiais de variação, (Montgomery 2009), recomenda seguir algumas etapas descritas a seguir para a realização da análise da estabilidade do processo. Como visto anteriormente na Figura 2, temos que as amostras 1,3,5,6,7,9,11 são Causas Especiais de variação.

A primeira etapa depois de detectado as causas especiais de variação como mostra a Figura 2, é investigar o motivo das CE terem acontecido. A seguir na Figura 4, foi elaborado um fluxograma genérico baseado em Montgomery (2009). Tal fluxograma tem por objetivo guiar as investigações sobre a razão das CE terem surgido neste setor específico. As CE devem ser investigadas e explicadas. Caso contrário deve-se agir com cautela, pois retirar tais amostras pode ocasionar perda de informação de causa comum do processo.

Figura 4 – Procedimento de identificação de CE no setor de envase de polpas de frutas



O teste de confirmação, uma das etapas mostrada na Figura 4, consiste em coletar alguns sachês da amostra e realizar uma comparação em uma balança de precisão externa a máquina envasadora. Isso irá determinar se o peso da balança de precisão, condiz com o peso da balança da máquina de envase.

Nas amostras 1,3 e 5, foi informado pelo chefe da manutenção que foi detectado um defeito elétrico no cabo da balança, que interliga a máquina envasadora a balança. De acordo com o chefe da manutenção, os ajustes foram realizados assim que detectado o defeito, voltando a produção normal.

Nas amostras 6,7,9 e 11, de acordo com o diário de bordo da empresa, foi detectado a troca de funcionários da máquina, havendo uma rotatividade das funções. Cada funcionário em sua respectiva máquina é responsável pelos pequenos ajustes ao longo da produção. Havendo troca de funcionários de determinada máquina, os mesmos precisam de um tempo de adaptação

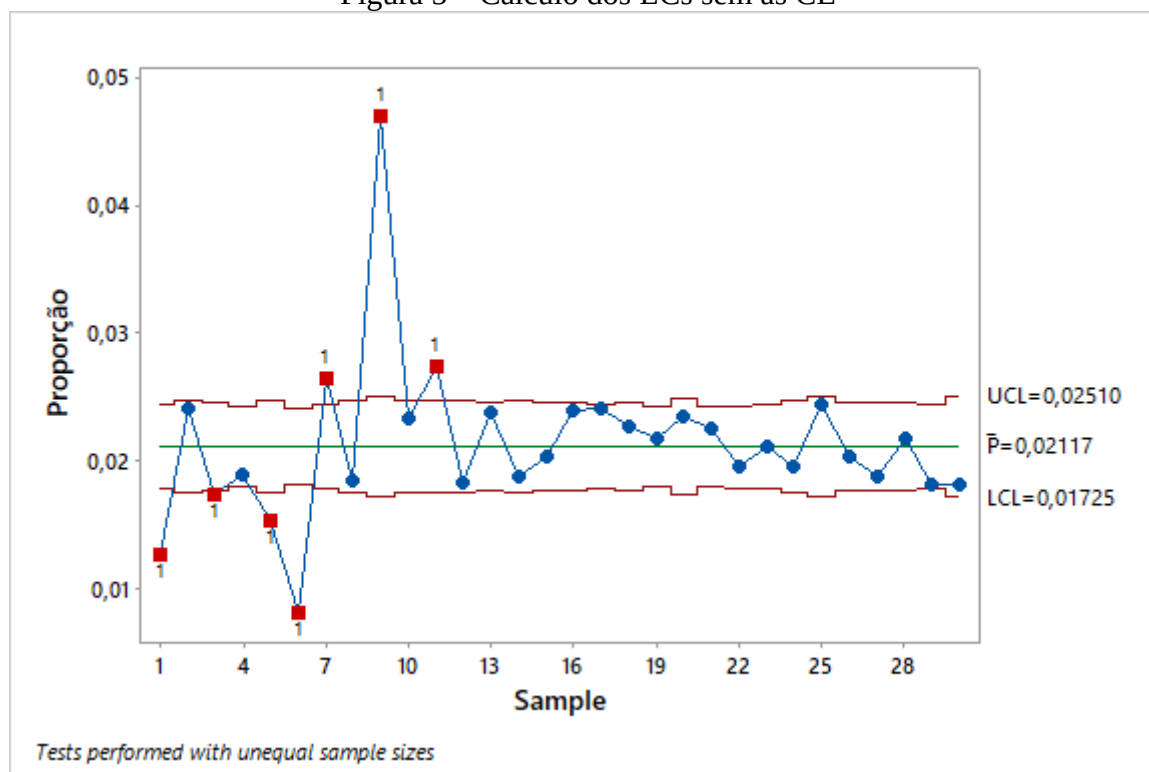
para realizar os pequenos ajustes mais rapidamente. A partir disso, chegou-se à conclusão que a rotatividade de funcionários na máquina ocasionou as CE nesses dias de produção.

Após a etapa da investigação do motivo que ocasionou as CE, sugere-se que a causa especial seja corrigida e feita uma prevenção contra recorrência. Nos dias de produção das amostras 1,3 e 5, a CE identificada foi ocasionada pelo cabo interlocutor da balança com a máquina envasadora. Foi sugerido fortemente a substituição do mesmo para que esta CE não venha a ocorrer novamente. Porém, para que o problema realmente não ocorra novamente, não basta apenas substituir a peça defeituosa, e sim identificar a razão pelo qual o cabo interlocutor apresentou o defeito elétrico. Para identificar a causa, o chefe da manutenção levantou possíveis razões para isso, como por exemplo: vida útil do cabo, manutenção preventiva e defeito em algum sistema elétrico dos equipamentos conectados ao cabo. Com essas possibilidades, o chefe da manutenção iniciou a investigação para que pudesse corrigi-la e prevenir sua recorrência. Até o momento a investigação das possíveis causas ainda não foram concluídas.

Nos dias de produção das amostras 6,7,9 e 11, o que ocasionou as causas especiais de variação foi a rotatividade de funcionários na máquina em questão, como dito anteriormente. Nesse caso também foi sugerido que todos os funcionários do setor de envase recebessem treinamento em todas as máquinas, para que os ajustes sejam feitos o mais brevemente possível quando necessários.

Enfim, após a investigação, a correção e a prevenção dos motivos que originaram as CE, a próxima etapa é um novo cálculo de limites de controle. Assim sendo uma nova análise foi feita sem incluir as causas especiais 1,3,5,6,7,9 e 11 nos cálculos dos limites de controle mostrado na Figura 5.

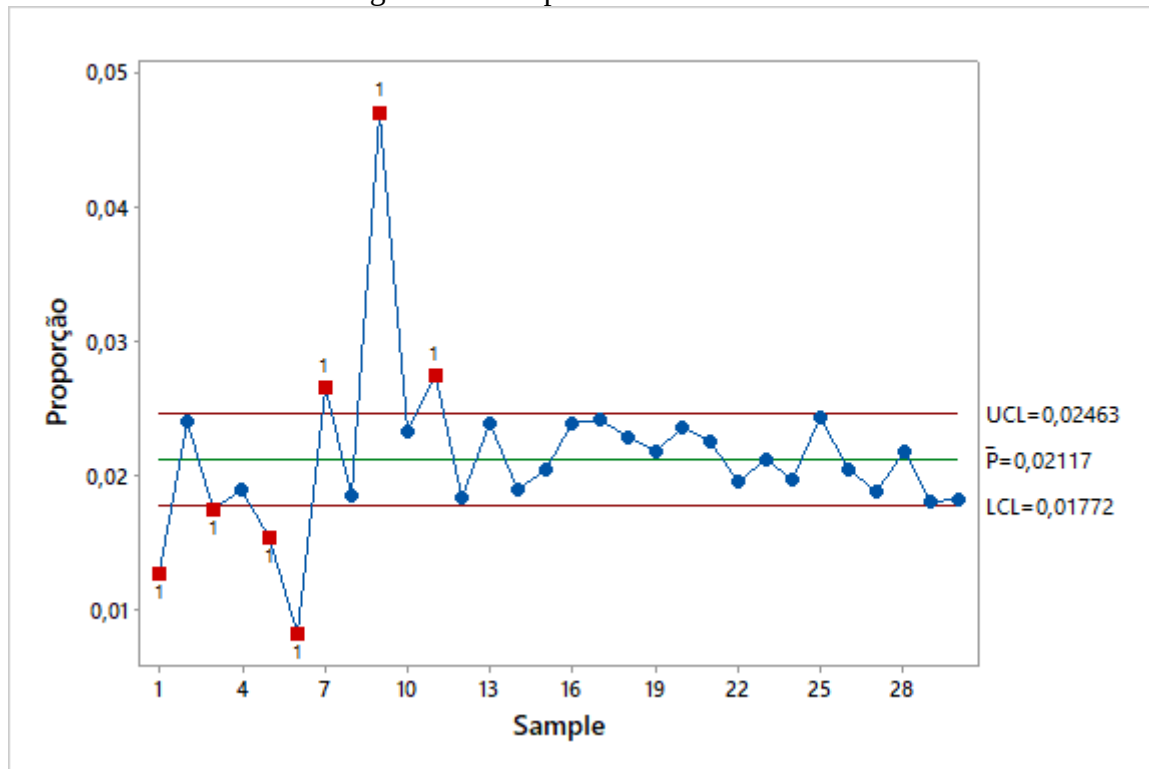
Figura 5 – Cálculo dos LCs sem as CE



Podemos observar na Figura 5 que com o novo cálculo dos LCs, não surgiram novas CE. Caso surgisse, seria necessário repetir as etapas descritas anteriormente, investigação, correção e prevenção contra recorrência das CE, e posteriormente calcular os LCs até que a carta não apresente mais CE, como ocorreu.

Para o estudo de Fase II, os limites de controle serão calculados considerando a média de produção de sachês sem incluir os dias de produção 1,3,5,6,7,9 e 11 que se referem as CE. Tal média de acordo com os dados da Tabela 1 é de 15636 unidades produzidas por dia. Então os limites fixos de controle para a Fase II, de monitoramento online, são mostrados na Figura 6.

Figura 6 – LCs para o Monitoramento Online



Pela Figura 6, temos que os limites de controle encontrados são:

$$UCL = 0,02463;$$

$$\bar{P} = 0,02117;$$

$$LCL = 0,01772.$$

No **quarto passo**, realizamos a análise da capacidade do processo. Para indicar se o processo é capaz, calculamos o índice DPM (Defeitos Por Milhão). Isto é, o número de sachês defeituosos a cada um milhão produzidos, através da proporção de itens defeituosos P definida nos cálculos de limites de controle anterior.

$$P = 0,02117;$$

$$DPM = P * 10^6;$$

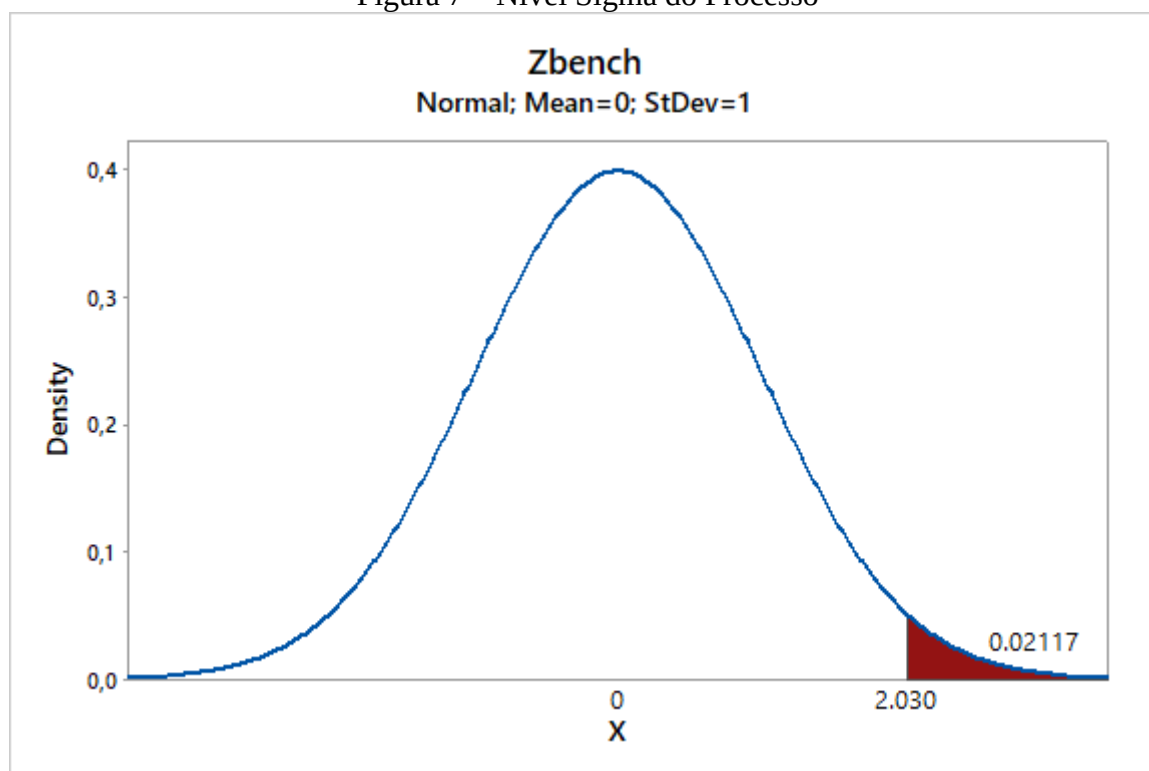
$$DPM = 0,021170 * 10^6;$$

$$DPM = 21170.$$

Assim o DPM obtido é em média 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão de sachês produzidos.

Para acharmos o nível sigma do processo, lançaremos a porcentagem de itens defeituosos $P = 0,02117$, em uma curva normal padronizada, com média 0 e desvio padrão igual a 1, $N(0,1)$. Com auxílio do software minitab 17 obtemos o nível sigma do processo, Zbench mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Nível Sigma do Processo



Podemos ver pela Figura 7, que o nível sigma do processo, o Zbench encontrado é:

$$Z_{bench} = 2\sigma;$$

Como visto anteriormente na Figura 6 os limites de controle para o monitoramento online, Fase II do estudo de cartas de controle, foram definidos.

Ou seja, para que a produção se mantenha em controle estatístico, a porcentagem de itens defeituosos não deve ultrapassar 2,46% do total de itens produzidos naquele dia de produção. Deve-se manter a porcentagem entre os valores de LCL e UCL, podendo estar abaixo de LCL, como as causas especiais 1,3,5 e 6, pois quanto menos defeitos melhor. Porém, deve-se ter cuidado com essa indicação, pois caso a porcentagem de itens defeituosos estiver abaixo do esperado, pelo histórico de dados, pode ser um indicativo de que algo está errado.

O monitoramento *online*, **quinto passo**, deve estar sendo sempre alimentado com os dados de produção diários, para que se por acaso ocorra qualquer variação fora dos limites de controle possa ser corrigido imediatamente.

Na Tabela 2, a seguir, temos as amostras coletadas para o monitoramento online, logo após a amostra 30 em que se encerra a Fase I. A Fase II inicia-se a partir da amostra 31, depois de realizado as etapas descritas até então.

Tabela 2 –Produção e Unidades Defeituosas do Monitoramento Online

AMOSTRA	PRODUZIDO	UNIDADES DEFEITUOSAS
	n(i)	D(i)
31	16321	298
32	17426	349
33	16545	348
34	13748	327
35	17221	374
36	18338	381
37	14854	321
38	12632	298
39	16349	305
40	15266	312
41	13478	281
42	16326	304
43	17420	395
44	15112	365
45	18934	379
46	17357	392
47	18456	367
48	16734	335
49	13100	261

Podemos ver na Tabela 2, que 19 amostras foram coletadas para análise do monitoramento *online*. Vale salientar que o monitoramento *online* vem sendo realizado diariamente.

Na Figura 8, temos o comportamento da Fase I e da Fase II. A partir da amostra 31, consiste na Fase II e verifica-se a cada amostra coletada, se os dados estão dentro das especificações determinadas anteriormente. Na Figura 9 temos a carta de controle apenas para a Fase II de monitoramento *online*.

Figura 8 – Comportamento Fase I e Fase II

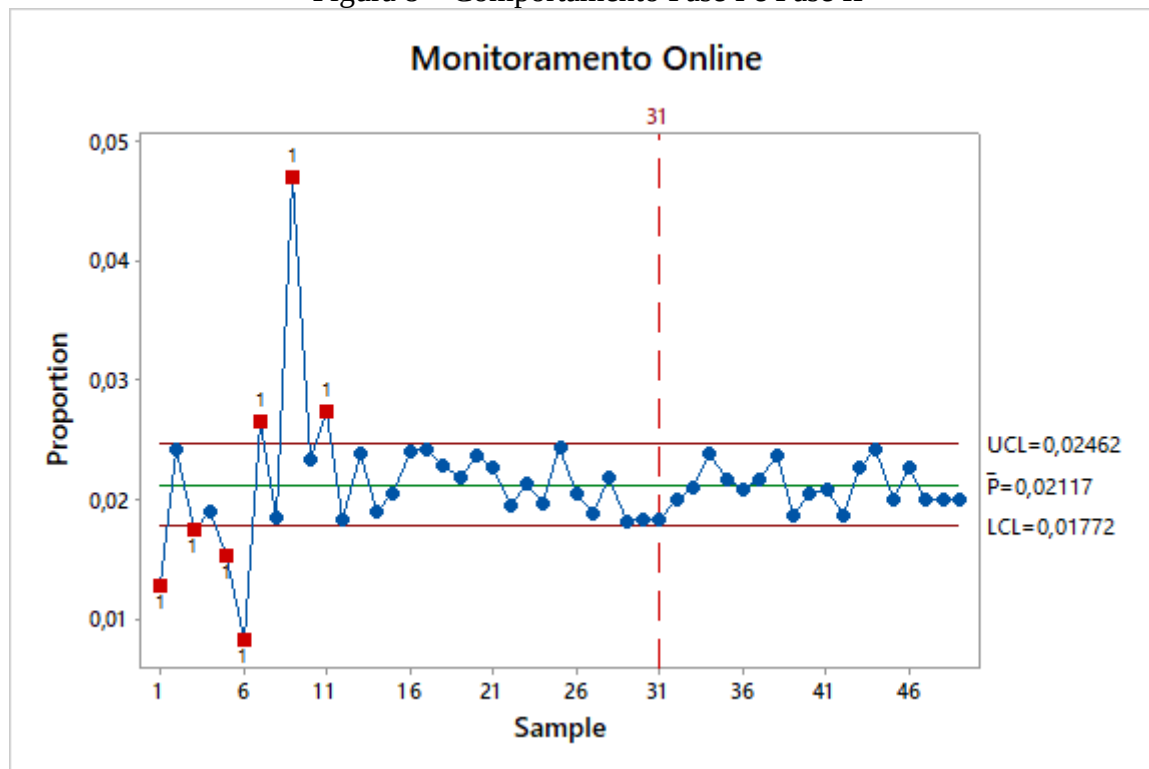
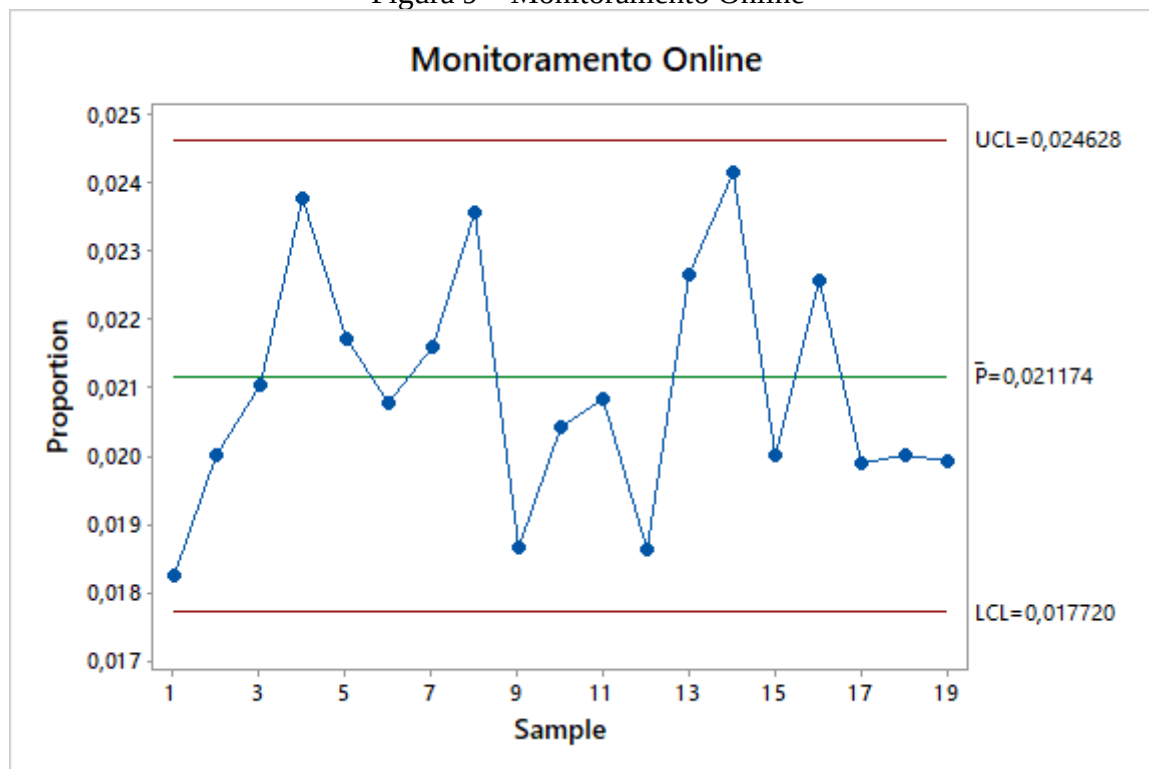


Figura 9 – Monitoramento Online



Como visto nas Figuras 8 e 9, as novas amostras coletadas estão dentro dos limites de especificação pré-estabelecidos, ou seja, até o momento, o processo encontra-se sob controle

estatístico. Vale salientar que, o monitoramento online é uma tarefa constante e deve ser atualizado sempre que houver produção.

Como dito anteriormente o **sexto passo** irá depender de diversos fatores e de algumas decisões a serem feitas pela empresa, portanto, a análise feita até aqui, continua com o monitoramento online. Porém, periodicamente será necessário revisar os limites de controle.

2.4 CONCLUSÕES

No início do trabalho foi estabelecido um objetivo de propor um método de implantação do Controle Estatístico do Processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas e frutas.

Na Fase I, foi realizada a análise retrospectiva dos dados e determinação do estado atual do processo de envase. Calculamos então através da carta de controle do tipo P, os limites de controle e a proporção de itens defeituosos presentes no processo produtivo, de acordo com os dados de produção. Os limites de controle encontrados foram $UCL = 0,02499$ e $LCL = 0,01716$, juntamente com a proporção de itens defeituosos $P = 0,02107$. Durante essa análise foi visto presença de causas especiais de variação, sendo necessário então, recalculer os limites de controle sem a presença das CE. Identificadas as causas, buscou-se conhecer a origem destas, para fazer a correção e a prevenção contra recorrência. Feito isso, encontramos novos limites de controle, $UCL = 0,025010$, $LCL = 0,01725$ e $P = 0,02117$. Dessa vez não foi identificado novas CE, podendo assim dar continuidade a análise. Para a análise do monitoramento online (Fase II) foi prefixado uma média de produção diária de 15636 unidades produzidas por dia de acordo com os dados coletados. Com a média de produção fixada os limites de controle novos foram $UCL = 0,02463$, $LCL = 0,01772$ e $P = 0,02117$.

Posteriormente, foi realizada a análise de capacidade, onde foi calculado o índice Defeitos Por Milhão e encontrado o nível sigma do processo ou ZBench. O DPM encontrado foi de 21170 unidades defeituosas a cada milhão produzidas, enquanto o nível sigma ou Zbench encontrado foi de 2,030, sendo concluída então a Fase I.

A Fase II, foi realizada a partir dos cálculos de limites de controle, fixados pela média de produção. Esses valores dos limites de controle foram fornecidos à empresa para que fosse realizado o monitoramento *online* diariamente. Caso alguma causa especial surgisse, esta seria eliminada na origem o mais breve possível. Com a utilização das cartas de controle, e a correção e prevenção contra recorrência de CE, e da efetiva implementação da Fase I e Fase II o processo

tem estado sob controle estatístico. Essa etapa de monitoramento *online*, está sendo utilizada até o momento.

O processo estando sob controle estatístico significa que a proporção de itens defeituosos tem se mantido estável e previsível. Consequentemente, os itens defeituosos estão dentro da faixa de valores esperada, demonstrando que a variação do peso dos sachês de polpas de fruta tem estado controlada até o momento.

Com isso, o objetivo da pesquisa foi concluído. Para esse estudo foi proposto um método sequencial para sua realização, contendo os passos de declaração do problema, plano de coleta de dados e cálculo dos limites de controle iniciais, análise da estabilidade do processo, análise de capacidade, monitoramento online, e decisão pelo fim do monitoramento. Assim, facilitando a implantação e a operacionalização do CEP no setor de envase de fabricação de polpas de frutas da indústria de alimentos. Também foi proposto um fluxograma genérico de identificação das CE para o setor de envase de polpas de frutas. Esse fluxograma está sendo implantando como um procedimento para os funcionários do setor de envase.

Este trabalho para a empresa tem como significado um avanço enorme, pois é o primeiro passo para a implementação de uma futura melhoria em seu processo. Com esse trabalho a empresa consegue enxergar numericamente a sua situação atual, e vislumbrar aonde podem e querem chegar. Com o índice DPM já calculado, pode se chegar a valores estimados de gastos com as unidades defeituosas, que então servirá como um alerta para a diretoria da empresa, para que uma melhoria seja feita e seja base para uma tomada de decisão. Fora isso, com o monitoramento online sendo realizado, caso surja alguma causa especial no processo, a possibilidade de resolução pode ser imediata, gerando benefícios significativos a longo prazo.

Vale salientar que este trabalho teve como objetivo geral propor um método de implantação do controle estatístico do processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas de frutas, e este foi realizado. Para pesquisas futuras, sugere-se continuar o trabalho e realizar um projeto de melhoria baseado no estado atual do processo. Onde após a melhoria proposta, pode-se futuramente comparar o estado antes da melhoria com o estado depois, através de índices já calculados nesse trabalho, como o DPM e o nível sigma. Assim teremos a possibilidade de fornecer uma boa base de evidências comprovando de fato, os benefícios da implantação do controle estatístico do processo em uma indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

AIAG. Statistical Process Control SPC. **Journal of Visual Languages & Computing**, [S. l.],

v. 11, n. 3, p. 287–301, 2005.

BIZUNEH, Berihun; WANG, Fu Kwun. A double exponentially weighted moving average chart based on likelihood ratio for monitoring an inflated Pareto process. **Quality and Reliability Engineering International**, [S. l.], n. September 2018, p. 1–18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qre.2469>

DE OLIVEIRA SILVA, Milena *et al.* Statistical process control for industrial baking process of smoked CALABRESE-type sausage. **Journal of Food Process Engineering**, [S. l.], v. 42, n. 8, p. 1–8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13295>

DZWOLAK, Waldemar. Assessment of HACCP plans in standardized food safety management systems – The case of small-sized Polish food businesses. **Food Control**, [S. l.], v. 106, n. March, p. 106716, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106716>

EBADI, Mohsen; AHMADI-JAVID, Amir. Control charts for monitoring multi-stage service processes with optimal queue performance. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03610918.2018.1520872>

GAURI, Susanta Kumar. Statistical process control procedures for controlling the weight of packets of biscuits. **Total Quality Management & Business Excellence**, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 529–539, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1478336032000053564>

HAYES, G. D.; SCALLAN, A. J.; WONG, J. H. F. Applying statistical process control to monitor and evaluate the hazard analysis critical control point hygiene data. **Food Control**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 173–176, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00045-5)

HUNG, H. C.; SUNG, M. H. Applying six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost. **Scientific Research and Essays**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 580–591, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/SRE10.823>

LIM, Sarina Abdul Halim; ANTONY, Jiju; ALBLIWI, Saja. Statistical Process Control (SPC) in the food industry - A systematic review and future research agenda. **Trends in Food Science and Technology**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 137–151, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.010>

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. **Development**, [S. l.], v. 134, n. 4, p. 635–646, 2009.

NEGIZ, Antoine *et al.* Modeling, monitoring and control strategies for high temperature short

time pasteurization systems - 3. Statistical monitoring of product lethality and process sensor reliability. **Food Control**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 29–47, 1998. Disponível em:

[https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(97\)00014-5](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(97)00014-5)

NGUYEN, Huu Du; TRAN, Kim Phuc; HEUCHENNE, Cédric. Monitoring the ratio of two normal variables using variable sampling interval exponentially weighted moving average control charts. **Quality and Reliability Engineering International**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 439–460, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qre.2412>

NIGEL P. GRIGG, Jeanette Daly. **Case StudyL the use of statistical process cotrol in fish product packaging**. [S. l.: s. n.]

ÖZDEMİR, Murat; ÖZILGEN, Mustafa. Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, [S. l.], v. 67, n. 3, p. 219–227, 1997. Disponível em:

<https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0163>

PABLE, Anant; LU, Susan; AUERBACH, Joshua. Integrated qualitative/quantitative techniques for food product quality planning. **Journal of Food Quality**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 112–129, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2009.00287.x>

SRIKAEAO, Khongsak; FURST, John E.; ASHTON, John. Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. **Food Control**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 309–317, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.03.010>

VINING, Geoff; KULAHCI, Murat; PEDERSEN, Søren. Recent Advances and Future Directions for Quality Engineering. **Quality and Reliability Engineering International**, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 863–875, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qre.1797>

CAPÍTULO 3

ARTIGO 2

3. PROPOSTA DE UM MÉTODO QUANTITATIVO PARA ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS QUALITATIVOS, UTILIZANDO ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA POR ATRIBUTOS

Resumo

Ferramentas qualitativas são comumente utilizadas para resolução de diversos problemas, tais ferramentas como o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a *Quality Function Deployment* (QFD). Todas essas ferramentas possuem deficiências, principalmente relacionadas as subjetividades das análises, pois dependem da opinião de especialistas. Para ajudar a reduzir essas subjetividades a Análise de concordância de atributos ou *Attribute Agreement Analysis* (AAA) pode ser uma ferramenta estatística bastante eficaz. Nesse sentido o objetivo deste artigo é desenvolver um método de análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa, baseada em análise de concordância de atributos. Durante a pesquisa foram realizadas reuniões com especialistas para buscar possíveis causas para a alta taxa de defeitos correspondente a métrica Defeitos por Milhão (DPM) de 21170 no processo de envase de sachês de polpas de frutas. Os especialistas classificaram as causas elencadas de acordo com a classificação de uma matriz esforço impacto. A análise foi validada com o auxílio da ferramenta estatística análise de concordância de atributos. Em seguida foram estabelecidos critérios e de priorização e eliminação de causas, para que no final as causas restantes pudessem fazer parte de um plano de ação para solucioná-las. Com a solução das causas de curto prazo, pode-se validar o método proposto, pois o novo DPM encontrado foi de 14978 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos, havendo assim uma redução de 30% na taxa de defeitos do processo.

Palavras Chave: Matriz de Priorização; Análise de Concordância de Atributos (AAA); Defeitos por Milhão (DPM).

PROPOSAL FOR A QUANTITATIVE METHOD FOR THE ANALYSIS AND SOLUTION OF QUALITATIVE PROBLEMS, USING ATTRIBUTE CONCORDANCE ANALYSIS

Abstract

Qualitative tools are commonly used to solve several problems, such as the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Quality Function Deployment (QFD). All of these tools have deficiencies, mainly related to the subjectivities of the analyzes, as they depend on the opinion of experts. To help reduce these subjectivities, Attribute Agreement Analysis (AAA) can be a very effective statistical tool. In this sense, the objective of this article is to develop a method of analysis and solution of qualitative problems using a quantitative approach, based on analysis of attribute agreement. During the research, meetings were held with specialists to search for possible causes for the high defect rate corresponding to the Defects per Million (DPM) metric of 21170 in the fruit pulp sachet filling process. The experts classified the causes they said according to the classification of an effort-impact matrix. The analysis was validated with the aid of the statistical tool for attribute agreement analysis. Then, criteria and prioritization and elimination of causes were established, so that in the end the remaining causes could be part of an action plan to solve them. With the solution of short-term causes, the proposed method can be validated, since the new DPM found was 14978 defective sachets for every 1 million produced, thus reducing the rate of defects in the process by 30%.

Keywords: Prioritization Matrix; Attribute Agreement Analysis (AAA); Defects per Million (DPM).

3.1 INTRODUÇÃO

Ferramentas, métodos e técnicas qualitativas são comumente utilizadas para a análise e solução de problemas nos diversos setores de produção tanto de bens como de serviços. Hoque et al. (2020) utiliza ferramentas tanto qualitativas como quantitativas na coleta de dados sobre produtividade em uma indústria de ferramentas. Benevene et al. (2019) através de diferentes técnicas qualitativas deseja saber como a alta gerência de empresas percebe o papel desempenhado pelo capital intelectual de suas organizações e como ele gera crescimento organizacional. Pode-se encontrar facilmente na literatura as diferentes ferramentas e técnicas qualitativas existentes. Como exemplos dessas ferramentas temos o *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), a *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Matriz GUT, Matriz Causa e Efeito dentre outras.

Segundo Zaman et al. (2014) o FMEA é uma técnica amplamente difundida na área da engenharia e consiste em identificar e eliminar as potenciais falhas de um produto, projeto, processo e até mesmo de um serviço. Sayyadi Tooranloo (2020) complementa afirmando que o FMEA é eficaz como meio de prevenção contra falhas. Para a indústria o FMEA é uma ferramenta da qualidade eficaz que aumenta a estabilidade e a segurança (OUYANG et al. 2020). Na indústria de alimentos é bastante utilizado para análise de riscos (JAHANGOSHAIRAZAEE et al., 2018). Já a AHP de acordo com Lari et al. (2020) é uma técnica que facilita a tomada de decisões complexas, tornando-as mais lógicas. A AHP analisa o problema em várias estruturas separadas (ORTIZ-BARRIOS et al., 2019). As decisões são tomadas baseadas em critérios em busca da melhor alternativa otimizada. Ainda segundo Lari et al. (2020), a AHP é comumente utilizada por ser simples e transparente, ao mesmo tempo em que lida com problemas mais complexos e com critérios qualitativos. A AHP é um método simples e prático, porém conta com uma base matemática simples, sendo uma de suas vantagens (LUO et al., 2020); (RAMÍREZ-RIVERA et al., 2020). A técnica é baseada em três fatores, estrutura hierárquica, julgamento comparativo dos critérios e síntese das prioridades (RAMÍREZ-RIVERA et al., 2020). AHP segundo Pipatprapa et al. (2018) é eficaz para tomadas de decisão que envolva vários critérios, e ajuda a reduzir erros do tomador de decisão.

Outra ferramenta qualitativa comumente utilizada é o *Quality Function Deployment* (QFD) no desenvolvimento de novos produtos Vanany et al. (2019), segundo as necessidades dos clientes (WANG et al., 2019). De acordo com Wang et al. (2019), o QFD, ainda ajuda na redução de custos e nos tempos de fabricação do produto. Ahmadabadi et al. (2018) comenta

que o QFD é uma ferramenta capaz de traduzir os desejos e necessidades dos clientes, em características técnicas dos produtos a serem desenvolvidos.

Existem também ferramentas qualitativas de menor complexidade de implementação, que são as matrizes de priorização e a matriz GUT. Segundo Izidoro (2019), a matriz GUT é uma ferramenta utilizada com o objetivo de priorizar problemas de acordo com sua gravidade, urgência e tendência. Segundo Izidoro (2019) a gravidade tem relação com a capacidade do impacto que o problema pode causar se for ou não solucionado. A urgência é relacionada ao tempo que o problema precisa ser resolvido, em outras palavras, seria o prazo para a resolução do problema. E a tendência, está relacionada a capacidade do problema evoluir para algo mais grave caso não seja solucionado a curto, médio ou longo prazo. Matrizes de prioridade, tem por objetivo principal a definição de quais atividades devem ser realizadas prioritariamente, e quais atividades, essas não tão urgentes, podem ser realizadas depois (CHEN *et al.*, 2006). A matriz de prioridade relaciona os esforços que serão necessários para realizar tais atividades juntamente com os benefícios caso essas atividades sejam realizadas (ZHANG; AN 2014).

Todas essas ferramentas qualitativas citadas possuem deficiências. Por exemplo o FMEA, segundo Ouyang et al. (2020) possui desvantagens na avaliação de fatores de riscos o que consequentemente pode acarretar imprecisão nas avaliações finais. Soltanali et al. (2020) diz que o FMEA é desenvolvido com informações subjetivas e que depende do conhecimento dos especialistas, o que também é confirmado por Ouyang et al. (2020), onde ele afirma que a avaliação do FMEA depende muito da experiência dos especialistas. Wang et al. (2019) afirma que, após as análises, os resultados encontrados pelo QFD são muito imprecisos, pois se deve ao fato de depender das pessoas que o utilizam. Pode-se dizer pelo que foi visto, não só a respeito do FMEA e do QFD, que essas ferramentas qualitativas possuem deficiências envolvendo a subjetividade e tendenciosidade do processo de tomada de decisão. Em síntese, todas dependem da opinião de um ou mais especialistas.

A Análise de concordância por atributos ou *Attribute Agreement Analysis* (AAA) segundo Bianchesi et al. (2019) é um teste estatístico em que se pode comparar avaliações de um padrão e as avaliações de especialistas ou dos usuários. Kubiak (2012) complementa dizendo que além das avaliações do padrão com os especialistas, pode-se comparar as avaliações de cada especialista com o padrão, entre os especialistas, e de cada especialista com ele mesmo. De acordo com Marques et al. (2018) a análise da AAA é feita com base nas mesmas amostras realizada por diferentes operadores, e tem a capacidade de identificar quais itens têm maiores índices de classificações erradas. Ainda segundo Marques et al. (2018), é possível com a AAA

reduzir a subjetividade das avaliações feitas por operadores ou especialistas. Xenarios et al. (2017) complementa dizendo que havendo um acordo substancial entre os avaliadores, é muito provável que as avaliações para determinada amostra sejam confiáveis. Comumente a análise de concordância por atributos é utilizada dentro do contexto de análises de sistemas de medição, para variáveis discretas e não como método para análise e solução de problemas.

Diante do que foi dito até então, este trabalho irá relacionar um método quantitativo visando reduzir as subjetividades de ferramentas qualitativas, o que não é comumente visto na comunidade científica. Logo o objetivo deste artigo é desenvolver um método de análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa, baseada em análise de concordância de atributos.

O primeiro passo do método consiste no *baseline*, ou seja, trazer informações sobre o estado atual do processo e do problema a ser resolvido. O segundo passo, será realizar o levantamento das causas. Em seguida no terceiro passo, será realizar um filtro das causas através de uma ferramenta qualitativa de priorização. No quarto passo é realizada a análise de concordância por atributos e busca-se validar as análises dos especialistas. Em seguida, no quinto passo, serão definidos critérios de eliminação e priorização de causas de acordo com a AAA, e por fim o sexto passo, consiste no plano de ação para as causas selecionadas ao final.

A técnica estatística análise de concordância por atributos teve por finalidade julgar as avaliações feitas por especialistas sobre as causas da alta taxa de defeitos no processo produtivo de envase de sachês de polpas de frutas na indústria de alimentos.

Durante a implementação do método, pôde-se reduzir de 36 supostas causas para a alta taxa de defeitos, para 12, e assim determinar prazos para soluções dessas causas em curto e médio prazo, sempre de acordo com o que os especialistas informavam. Por fim, pôde-se validar o método, comparando o DPM visto no baseline de 21170 defeitos por milhão, e o novo DPM calculado após a implementação do método equivalente a 14978.

Este artigo está dividido em 4 partes, a introdução, o método proposto, a análise dos resultados e por fim as conclusões. Na segunda parte, do método proposto, é visto cada etapa do método de análise qualitativa por meio da ferramenta quantitativa. Na terceira parte são mostrados os resultados com suas respectivas análises, de acordo com o método dito anteriormente. E por fim a 4 parte refere-se as conclusões do trabalho e possíveis sugestões de pesquisas futuras.

3.2 MÉTODO PROPOSTO

A seguir é apresentado o método proposto composto de 4 passos para análise e solução de problemas qualitativos por intermédio de uma ferramenta quantitativa.

O **primeiro passo** do método consiste no *baseline*, ou seja, informações necessárias a respeito do processo para a realização do trabalho. Basicamente o *baseline* irá servir para avaliar a estabilidade e a capacidade do processo. Assim serão realizadas análises a respeito do estado atual do processo. Primeiro foram realizadas análises através das cartas de controle do tipo P, por se tratar de dados do tipo atributos. Dependendo das características do processo, várias outras cartas de controle poderão ser usadas. As cartas de controle do tipo P, segundo Montgomery (2009) são calculadas através das Eq. 1, 2 e 3, que são representadas pelos limites de controle: limite superior (UCL), *center line* ($\bar{P}$), e limite inferior (LCL), respectivamente.

$$UCL = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{ni}}; \quad (1)$$

$$\bar{P}; \quad (2)$$

$$LSL = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{ni}}; \quad (3)$$

Onde: $Pi = \frac{Di}{n(i)} \quad e \quad (4)$

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i} . \quad (5)$$

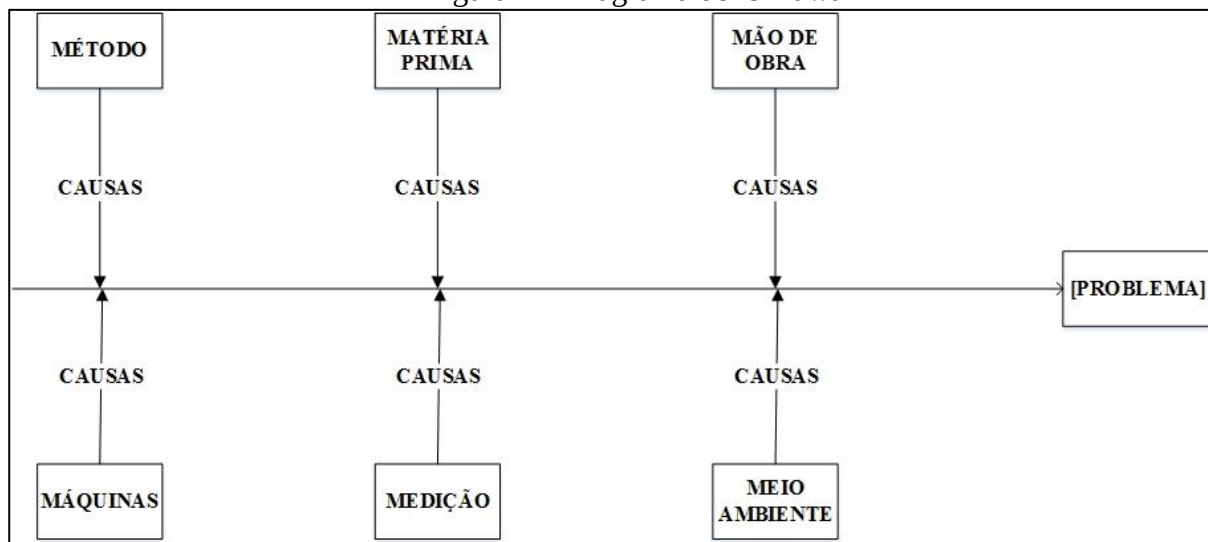
Em seguida é realizada a análise da capacidade do processo, que segundo Montgomery (2009), pode ser obtido através do Defeitos por Milhão (DPM), e através do nível sigma de qualidade (ou Zbench). Novamente, a depender das características do processo outros índices de capacidade poderão ser usados. O Zbench pode ser obtido através da porcentagem de itens defeituosos, em uma curva normal padronizada $N(0,1)$, unilateral a direita. O DPM pode ser calculado através da Eq. 6:

$$DPM = P * 10^6; \quad (6)$$

O **segundo passo** é referente a busca de causas relacionadas ao problema encontrado. Para isso foi utilizado uma técnica bastante utilizada e difundida, o *braisntorming*. Reúne-se os especialistas envolvidos no problema em questão, com a finalidade de buscar causas para o

problema. Como complemento ao *brainstorming*, utiliza-se o diagrama de *Ishikawa*, onde os especialistas podem de forma estruturada classificar as causas em relação aos 6M's, que são: método, matéria prima, mão de obra, máquinas, medição e meio ambiente, conforme a seguir na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa



Após a identificação e classificação das causas de acordo com os 6 M's, o **terceiro passo** seria elencar todas as causas ditas por todos os especialistas e mostrá-las a todos. Em seguida cada especialista irá classificar as causas ditas por ele ou não, através de uma ferramenta qualitativa de priorização. A ferramenta escolhida foi uma matriz de priorização, chamada matriz esforço impacto. O motivo da escolha da matriz esforço impacto foi a familiaridade dos especialistas que já realizaram as análises com a ferramenta. Porém, existem outras ferramentas qualitativas de priorização, como o FMEA, matriz GUT, a AHP, QFD, dentre outras. Na Figura 2, tem-se a matriz esforço impacto utilizada.

Figura 2 – Matriz Esforço Impacto

E S F O R Ç O	I	III
E S F O R Ç O	II	IV
	BAIXO IMPACTO	ALTO IMPACTO

Como podemos ver na Figura 2, a matriz esforço impacto tem a seguinte classificação, I: Alto esforço e baixo impacto; II: Baixo esforço e baixo impacto; III: Alto esforço e alto impacto e IV: Baixo esforço e alto impacto. Logo os especialistas irão elencar as causas nos quadrantes I, II, III e IV.

Em seguida será realizada a análise de concordância por atributos, o que representa o **quarto passo** do método. De acordo com Kubiak (2012), a análise de concordância pode ser feita da seguinte forma:

- i. Análise de concordância entre todos os especialistas e um padrão;
- ii. Análise de concordância entre cada especialista e o padrão;
- iii. Análise de concordância entre os especialistas;
- iv. Análise de concordância do especialista com ele mesmo.

Neste método será feita a análise de concordância entre todos os especialistas com o padrão. Como a classificação das causas resulta em dados do tipo atributo nominal, a análise de concordância deverá ser conduzida através da interpretação do índice Kappa. Segundo a AIAG (2010), o índice indica o nível de acordo dos avaliadores na análise de concordância. O valor de *Kappa* (*K*) pode ser obtido através da Eq. (7):

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (7)$$

Onde:

P_o = Proporção de concordância observada;

P_e = Proporção de concordância esperada.

P_o pode ser obtido através da Eq. 8:

$$P_o = \frac{1}{Nn(n-1)} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K X_{ij}^2 - Nn \right) \quad (8)$$

Onde:

X_{ij} = número de avaliadores que atribuíram para a i-ésima causa a j-ésima classificação;

n = número total de avaliadores;

N = número total de causas;

K = número total de classificações (I, II, III e IV).

Pe pode ser encontrada através da Eq. 9:

$$P_e = \sum p_j^2 \quad (9)$$

Onde p_j^2 é a proporção de concordância em cada categoria medida. Calculada através da Eq 10:

$$P_j^2 = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N X_{ij} \quad (10)$$

A AIAG (2010), define a avaliação do *Kappa* como aceitável, marginal ou inaceitável, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de concordância de Kappa

Valores de Kappa	Nível de Concordância
$k > 0,75$	Aceitável
$0,4 < k < 0,75$	Marginal
$k < 0,40$	Inaceitável

Fonte: Adaptado da AIAG (2010)

Segundo a AIAG (2010), valores de *Kappa* abaixo de 0,40, indicam uma concordância fraca. Acima de 0,75, o valor de *Kappa* indica uma concordância de boa para excelente. Entre 0,4 e 0,75, é considerada uma concordância marginal. Nessa faixa pode-se considerar aceitável ou não a concordância a depender da avaliação dos especialistas e das características do processo.

Para que se tenha uma concordância significativa se faz necessário também conhecer o valor do *p-value*. Assim, a partir do *Kappa* podemos calcular o escore padronizado Z , e assim descobrir se a concordância é significativa com *p-value* < 0,05. O cálculo de Z , segundo Fleiss (2013) é feito de acordo com a Eq. 11:

$$Z = \frac{K}{se_0(K)} \quad (17)$$

Onde:

se_0 = Erro padrão de *Kappa*;

E pode ser calculado através da Eq. 18:

$$se_0(K) = \frac{1}{(1 - P_e)\sqrt{n}} \sqrt{P_e + P_e^2 - \sum_{i=1}^k P_i P_i (P_i + P_i)} \quad (18)$$

Feita a análise de concordância foi desenvolvido critérios de priorização e eliminação das causas para a elaboração do plano de ação. A princípio, tais critérios foram definidos da seguinte forma: priorizar causas de alto impacto e baixo esforço com concordância de pelo menos 80%, assim como eliminar causas de baixo esforço e baixo impacto com concordância de pelo menos 80%. A critério do especialista, poderão ser adicionados outros critérios para priorizar e/ou eliminar causas.

Estabelecidos os critérios, o **quinto passo** seria o plano de ação do método proposto, feito através da ferramenta 5W1H (*what, why, where, who, when and how*).

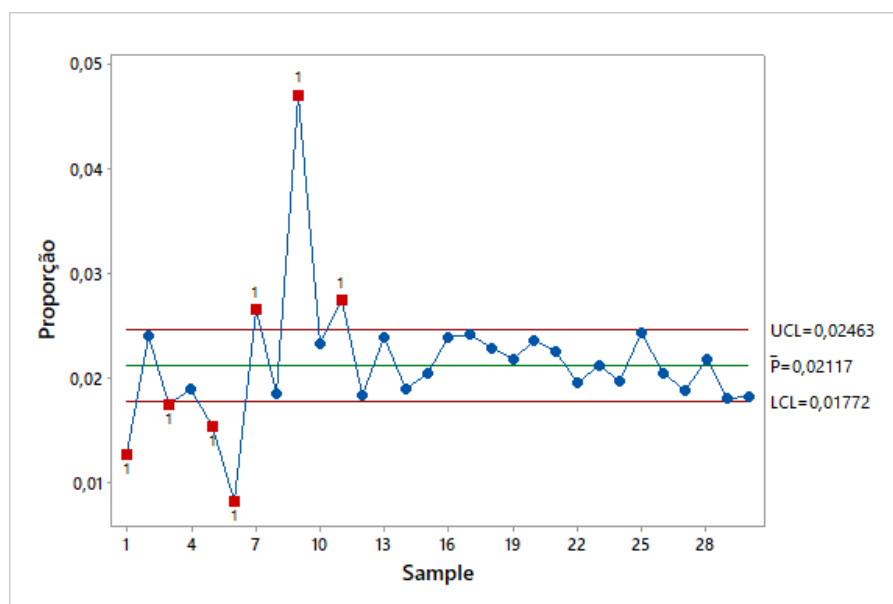
O **sexto passo**, seria a validação da melhoria realizada, o que vai consistir na comparação do antes e depois da implantação do método de melhoria. Recomenda-se a comparação do DPM no *Baseline* com o DPM após a realização das melhorias.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados do trabalho, seguindo a lógica sequencial do modelo apresentado na seção 2. Então serão apresentados o baseline, a busca das causas, elencar as causas em uma ferramenta qualitativa de priorização, a análise de concordância de atributos, o plano de ação e a validação.

Em relação ao **primeiro passo**, foi realizado uma análise de medição da situação do processo em termos de produção e taxa de defeitos. O processo em questão é o envase de sachês de polpas de frutas e sua alta taxa de defeitos. Foram realizadas análises referentes ao estudo de Fase I e Fase II de cartas de controle. Foram coletados dados referentes a 30 dias de produção. Assim realizada as análises através de cartas de controle do tipo P, foram definidos os limites de controle, através das Eq. 1,2 e 3. Na Figura 3 podemos observar a carta de controle e os LCs.

Figura 3 – Limites de Controle *Baseline*



Onde:

$$UCL = 0.02463;$$

$$P = 0.02117;$$

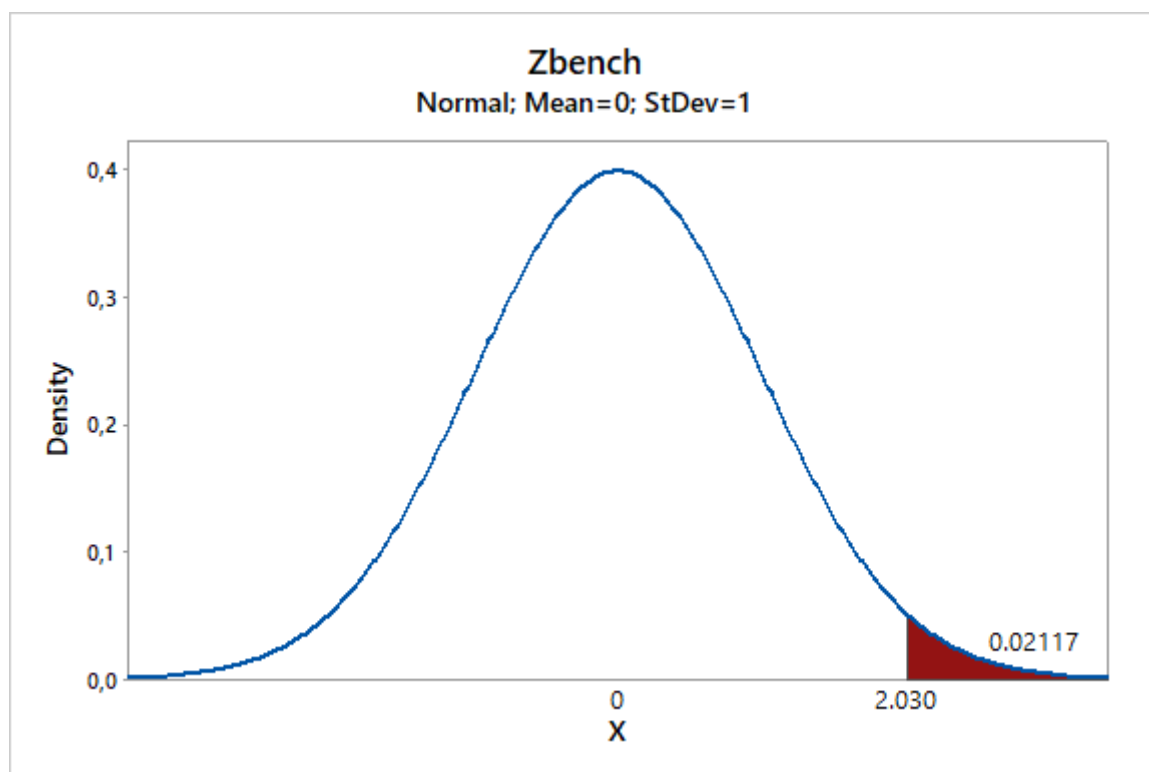
$$LCL = 0.01772.$$

A partir disso podemos calcular o DPM através da Eq. 6:

$$DPM = 21170.$$

Assim o DPM do processo equivale a 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos e na Figura 4 temos o nível sigma (Zbench):

Figura 4 – Zbench ou Nível Sigma



$$Z_{bench} = 2\sigma;$$

A partir do conhecimento do problema em questão, ou seja, a taxa de defeituosos ou o DPM de 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos, foram reunidos seis especialistas envolvidos no processo para a busca das possíveis causas do problema. Foi realizado então o *brainstorming*, que consiste no **passo 2** do método com os especialistas. Foi instruído aos especialistas que as causas do problema, fossem classificadas de acordo com os 6M's do diagrama de *Ishikawa*, matéria prima, medida, método, meio ambiente, mão de obra e máquina. A seguir no Quadro 1, são mostradas as possíveis causas indicadas pelos especialistas de acordo com os 6M's.

Quadro 1 – Causas relacionadas pelos especialistas

Especialistas 6M'S	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Especialista 4	Especialista 5	Especialista 6
	Qualidade da Embalagem; Estatores.	Matéria prima defeituosa;	Bobinas danificadas;	Densidade da Fruta;	Densidade das polpas; Embalagens danificadas;	Embalagens Irregular; Bobinas de má qualidade;

		Qualidade da embalagem.	Diferentes Frutas; Teflon Utilizado.	Abrasividade da Fruta; Fornecedor.	Baixa qualidade do teflon; Baixa qualidade das resistências.	Fotocélula da bobina irregular.
Medidas	Embalagem Fora das especificações adequadas; Troca programada dos estatores.	Calibração Inadequada; Padrão Inadequado.	-	Tempos de Solda.	Tempos de Selagem variados; Vazão das bombas; Controle inadequado da temperatura das resistências.	Pesagem
Método	-	Processo Manual	Produção diária Variada	-	Produção sem planejamento; Falta de sistemas de comunicação com a manutenção; Manutenção Corretiva.	Metas diárias difíceis
Meio Ambiente	-	Layout Inadequado	-	-	Ruídos; Acessibilidade.	Calor Acessibilidade
Mão de Obra	-	Falta de Treinamento; Falta de Motivação; Desatenção.	Falta de Atenção; Falta de Treinamento.	Capacitação; Qualidade técnica dos funcionários.	Capacitação; Treinamento; Rotatividade.	Falta de mão de obra; Falta de atenção.
Máquina	-	Manutenção ; Máquinas Antigas.	Manutenção ; Resistências .	Folga nas resistências; Cabos desconectados.	Máquinas antigas; Sensores de baixa qualidade; Fiação velha e danificada.	Manutenções Programadas.

Por fim foi feita a análise de todas as causas junto com os especialistas e realizado um filtro de causas iguais e similares, iniciando-se assim o **passo 3** do método. Com isso foi

elencado um total de 36 possíveis causas para a taxa de defeitos. Na Tabela 7 é mostrado de maneira geral as causas numeradas de 1 a 36.

Quadro 2 – Possíveis causas para a taxa de defeitos

Causas							
1	Qualidade da Embalagem	10	Calibração Errada	19	Falta de Pessoal	28	Falta de Profissionais Qualificados
2	Estatores danificados	11	Padrão Inadequado	20	Metas difíceis	29	Rotatividade
3	Bobinas Danificadas	12	Tempos de Solda	21	Layout Inadequado	30	Falta de Manutenção
4	Diferentes Frutas	13	Vazão das bombas	22	Ruídos	31	Máquinas Antigas
5	Teflon Utilizado	14	Pesagem	23	Acessibilidade	32	Baixa Qualidade das Resistências
6	Fornecedores	15	Processo Manual	24	Calor	33	Resistência Folgada
7	Baixa Qualidade do Teflon	16	Produção Sem Planejamento	25	Falta de Treinamento	34	Cabos desconectados
8	Embalagens fora das especificações	17	Falta de sistemas de comunicação com a manutenção	26	Falta de Motivação	35	Sensores de Baixa Qualidade
9	Troca programada dos estatores	18	Manutenção Corretiva	27	Desatenção	36	Fiação Velha e danificada

A partir disso cada especialista classificou as causas elencadas na Tabela 7 em uma matriz de priorização, no caso a Matriz Esforço Impacto. Cada especialista classificou as causas de 1 a 36 no quadrante da matriz em que, na opinião deles, mais se adequava aquela determinada

causa. Na Figura 5, é mostrado a análise dos especialistas, elencando as causas do Quadro 2 na matriz esforço impacto.

Figura 5 – Causas relacionadas na Matriz Esforço Impacto

ESFORÇO ALTO	1: 4 6 7 14 15 16 19 20 21 22 23 31; 2: 4 6 14 19 20 23 31; 3: 4 6 14 19 20 21 23 32; 4: 4 6 7 14 16 19 20 21 23 31; 5: 4 6 7 10 14 15 16 19 20 21 23; 6: 4 5 6 14 19 21 31 35	1: 2 5 9 18 27 28 32 33 2: 7 9 11 15 18 28 30 32 36 3: 2 5 7 11 15 18 28 30 31 33 35 36 4: 2 10 15 18 28 29 30 32 33 35 36 5: 2 9 11 18 26 28 30 31 32 33 35 36 6: 2 3 7 9 15 18 28 30 32 33
ESFORÇO BAIXO	1: 3 11 17 24 26 29 36 2: 3 16 17 21 22 24 27 29 35 3: 3 9 16 17 22 24 29 4: 9 11 17 22 24 26 27 5: 3 17 22 24 27 29 6: 16 17 20 22 23 24 29	1: 1 8 10 12 13 25 30 34 35 2: 1 2 5 8 10 12 13 25 26 33 34 3: 1 8 10 12 13 25 26 27 34 4: 1 3 5 8 12 13 25 34 5: 1 5 8 12 13 25 34 6: 1 8 10 11 12 13 25 26 27 34 36
	BAIXO IMPACTO	ALTO IMPACTO

Com as matrizes esforço impacto prontas, pode-se dar início ao **passo 4**, a análise de concordância por atributos. Antes de iniciar a análise de concordância por atributos deve-se definir quem é o padrão dentre os especialistas para a realização da análise. O padrão foi definido a partir dos seguintes critérios: Maior tempo de trabalho na empresa e maior conhecimento técnico dos processos e máquinas. A partir desses requisitos o especialista que mais se adequa na opinião de todos é o especialista 4.

Assim, foi realizada a análise de concordância por atributos através das Eq. 7, 8, 9 10, 11 e 12. Assim a partir das análises realizadas entre todos os especialistas e o padrão, pode-se perceber que:

- Das 36 causas elencadas, houve concordância de 14 entre todos os especialistas e o padrão;
- O percentual de concordância foi de 38,89%.
- $Kappa = 0,581594$;
- $P\ value = 0,0000$.

O valor de $Kappa = 0,581594$, está dentro da faixa marginal segundo a Tabela 1, e, portanto, poderá ser considerado aceitável para esse estudo. A análise do $Kappa$ em conjunto com o p

$value = 0,000$, indica que a concordância é significativa, pois $p < 0,05$. A análise então entre os especialistas e o padrão através do *Kappa* e do *p-value*, é validada.

A partir da análise de concordância apresentada, decidiu-se estabelecer alguns critérios de priorização e eliminação para as causas. O objetivo é realizar um filtro das 36 causas encontradas para que o processo da redução da taxa de defeitos se torne mais eficaz. Os critérios de priorização e eliminação das causas foram os seguintes:

- i. Priorizar todas as causas classificadas em baixo esforço e alto impacto e com concordância maior ou igual a 80%;
- ii. Eliminar todas as causas classificadas em alto esforço e baixo impacto com concordância maior ou igual a 80%;
- iii. Priorizar todas as causas classificadas em alto esforço e alto impacto com concordância maior ou igual a 80%;
- iv. Eliminar todas as causas classificadas em baixo esforço e baixo impacto com concordância maior ou igual a 80%.

Priorizar causas que possam ter excelentes efeitos com o mínimo esforço e que a maioria predominante concorde, foi a razão da elaboração do critério “i”. Eliminar causas que não irão gerar excelentes resultados e que irão demandar um alto esforço foi o motivo da escolha do critério “ii”. O critério “iii”, foi elaborado com o intuito de que a longo prazo causas de alto esforço podem gerar excelentes resultados se forem de alto impacto, com uma concordância da maioria predominante. O critério “iv”, foi elaborado a partir da ideia que causas que gerem baixo impacto de acordo com a concordância da maioria, não justificam o mínimo esforço.

Foi realizada então uma análise gráfica indicando a porcentagem de concordância entre os 5 especialistas e o padrão para cada uma das 36 causas. Essa análise gráfica foi dividida entre as classificações da matriz esforço impacto, alto esforço e baixo impacto, baixo esforço e baixo impacto, alto esforço e alto impacto e baixo esforço e alto impacto. A Figura 6 a seguir mostra a concordância na classificação alto esforço e baixo impacto, assim como as causas eliminadas de acordo com os critérios de priorização e eliminação.

Figura 6 – Causas eliminadas com concordância de pelo menos 80% em Alto esforço x Baixo Impacto



Analisando a Figura 6 podemos notar que na classificação alto esforço e baixo impacto apenas 4 causas tiveram concordância 100% com o padrão. Assim, todos os especialistas concordaram com o padrão que diferentes frutas, fornecedores, pesagem e a falta de pessoal são causas que irão demandar um alto esforço para a resolução e irá gerar um baixo impacto na redução da taxa de defeitos. Três causas tiveram concordância 80%, ou seja, quatro especialistas dentre os 5 concordaram com o padrão. Uma causa com concordância 60%, e 2 causas com concordância 40%. A Figura 7 a seguir mostra a concordância na classificação baixo esforço e baixo impacto, assim como as causas eliminadas de acordo com os critérios de priorização e eliminação.

Figura 7 – Causas eliminadas com concordância de pelo menos 80% em Baixo esforço x Baixo Impacto



Na Figura 7, podemos notar que apenas duas causas tiveram concordâncias 100%, em que todos os especialistas concordaram com o padrão. A falta de sistemas de comunicação com o setor da manutenção e o calor. Essas causas na opinião dos especialistas e na avaliação do padrão são causas que demandam baixo esforço e terão baixo impacto na redução da taxa de defeitos. Uma causa teve porcentagem de concordância de 80%, uma de 40%, e três causas com concordância de 20%. A Figura 8 a seguir mostra a concordância na classificação alto esforço e alto impacto, assim como as causas priorizadas de acordo com os critérios de priorização e eliminação.

Figura 8 – Causas priorizadas com concordância de pelo menos 80% em Alto esforço x Alto Impacto



A manutenção corretiva e a falta de profissionais qualificados, são causas que tiveram concordância 100% dos especialistas com o padrão, dentro da classificação alto esforço e alto impacto. Quatro causas segundo a Figura 8 tiveram porcentagem de concordância 80%, ou

seja, quatro especialistas concordaram com a avaliação do padrão. Houve duas causas em que três especialistas concordaram com o padrão. Uma causa, os sensores de baixa qualidade, teve concordância de 2 especialistas com o padrão. Nas causas calibração errada e rotatividade não houve concordância nenhuma dentre todos os especialistas e o padrão, ou seja, apenas a avaliação do padrão sugere que essas causas sejam classificadas como causas que irão demandar alto esforço e alto impacto em suas resoluções. A Figura 9 a seguir mostra a concordância na classificação baixo esforço e alto impacto, assim como as causas priorizadas de acordo com os critérios de priorização e eliminação.

Figura 9 – Causas priorizadas com concordância de pelo menos 80% em Baixo esforço x Alto Impacto



Pode-se observar na Figura 9 que, 6 causas tiveram porcentagem de concordância em 100%. Dentre todas as classificações, a de baixo esforço e alto impacto foi a que obteve o maior número de concordâncias 100%, ou seja, todos consideraram as resoluções para estas causas como sendo de baixo esforço e alto impacto.

No total foram priorizadas 12 causas e eliminadas 10. 14 causas não foram enquadradas em nenhum critério. A justificativa é que houve uma significativa discordância a respeito delas, sendo necessário assim uma reavaliação das mesmas com os especialistas. Com as causas priorizadas o **passo 5**, no caso o plano de ação pode ser posto em prática. Foi discutido com os especialistas e adotado o 5W1H. No Quadro 3 encontra-se a planilha 5W1H utilizada

Quadro 3 – Planilha 5W1H

MÉTODO 5W1H						
PROJETO: Redução da taxa de defeitos da produção						
O QUE	POR QUÊ	COMO	ONDE	QUEM	QUANDO	STATUS
Qualidade da Embalagem	Embalagens de baixa qualidade estão sujeitas a "saírem" mais facilmente da guia da máquina, por serem mais frágeis e/ou escorregadias. E também estão sujeitas a rasgarem com mais facilidade na hora da selagem do sachê	Rastrear embalagens utilizadas na época da coleta dos dados, classificá-las e selecionar bobinas de embalagens diferentes da utilizada na época da coleta de dados	Setor técnico, almoxarifado e industrial	Almoxarife; Chefe da manutenção; Responsável Técnica (Eng. de Alimentos);	1 semana	Concluída
Embalagens fora das especificações adequadas	Embalagens fora das especificações indicadas estão sujeitas a interferir de maneira negativa o processo de selagem	Selecionar embalagens com especificações adequadas e cobrar ao fornecedor somente o envio de embalagens com especificações específicas	Setor técnico, almoxarifado e industrial	Almoxarife Chefe da manutenção	1 semana	Concluída
Tempos de Solda	Mudanças de diferentes polpas interferem nos tempos de solda, que por sua vez influencia na selagem da embalagem	Determinar tempo padrão para a solda da embalagem para diferentes polpas de acordo com o tempo de vazão das bombas e treinar o chefe do setor e os operadores para conferência diária do tempo padrão	Setor técnico e industrial	Chefe da Manutenção	1 semana	Concluída
Vazão das bombas	Para diferentes polpas, devido as diferentes densidades, é necessário tempos diferentes de vazão das bombas	Determinar tempo padrão para a vazão das bombas para as diferentes polpas	Setor técnico e industrial	Chefe da Manutenção	1 semana	Concluída

Falta de Treinamento	Existe uma alta rotatividade de funções dentro do setor, o que ocasiona de alguns funcionários não saberem executar bem determinadas tarefas	Realizar treinamentos periódicos	Setor técnico e industrial	Engenheira de Alimentos Chefe da Manutenção Supervisor de Produção	1 semana	Concluída
Cabos desconectados	Cabos que são colocados e retirados constantemente devido a troca de bobinas de embalagens e que devem ser conferidos periodicamente	Realizar treinamentos periódicos e estabelecer procedimento de conferência a cada troca de bobina	Setor técnico e industrial	Chefe da Manutenção Supervisor de Produção	1 semana	Concluída
Manutenção Corretiva	Manutenções realizadas de maneira corretiva podem ocasionar desgaste de equipamentos precocemente, interferindo no funcionamento geral da máquina	Criar plano de manutenção preventiva	Setor técnico e industrial	Chefe da Manutenção	4 semanas	Iniciado
Falta de Profissionais Qualificados	Ocasiona na falta de experiência em trabalhar com equipamentos mais técnicos, o que dificulta a realização da operação e o aprendizado	Melhorar critérios de seleção do RH	Recursos Humanos	RH	8 semanas	Não iniciado
Estatores danificados	Estatores que não funcionam de maneira no mínimo aceitável, prejudica o bom funcionamento do processo	Estudar a viabilidade de substituir estatores ao fim da vida útil	Setor técnico e industrial	Compras Almoxarife Chefe da Manutenção	16 semanas	Não Iniciado
Falta de Manutenção	A falta de realização de uma manutenção preventiva nas máquinas e nos equipamentos auxiliares, podem causar problemas que interferem nas produções diárias	Cumprir o plano de manutenção preventiva	Setor Técnico e Industrial	Chefe da Manutenção	A partir da finalização da criação do plano de manutenção preventiva	Não iniciado
Baixa Qualidade das Resistências	Resistências de baixa qualidade comprometem o processo de selagem de embalagens	Selecionar fornecedores de resistências de melhor qualidade e estudar a viabilidade de comprar resistências de qualidade superior	Setor Técnico e Industrial	Compras Almoxarife Chefe da Manutenção	16 semanas	Não iniciado

Resistência Folgada	Ao longo do processo as resistências tendem a folgarem na máquina necessitando de ajustes que atualmente apenas o chefe da manutenção realiza, pois se trata de um procedimento mais delicado	Treinar todos os operários do setor para a realização dos ajustes necessários ao longo do processo	Setor Técnico e Industrial	Chefe da Manutenção Supervisor de Produção	8 semanas	Não iniciado
---------------------	---	--	----------------------------	--	-----------	--------------

As causas de baixo esforço e alto impacto, podem ser ditas causas que podem ser resolvidas a curto prazo. Já as causas de alto esforço e alto impacto, exigem um prazo maior para suas resoluções e até o momento não foram 100% solucionadas. Como podemos ver no Quadro 3, até o momento da escrita deste trabalho, todas as causas de curto prazo já haviam sido solucionadas.

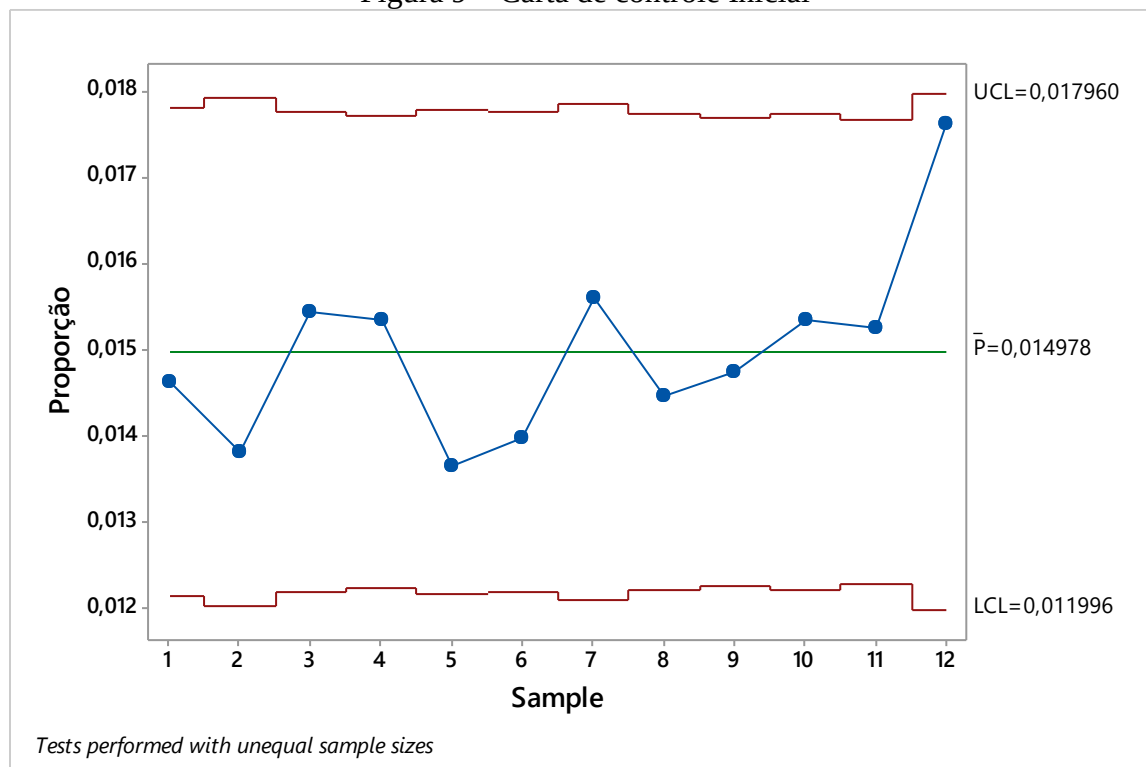
Com as resoluções das causas de baixo esforço e alto impacto, podemos testar o método aplicado e analisar sua eficácia, através da validação da melhoria, que consiste no **passo 6** do método. Como visto no *Baseline*, foi utilizado as cartas de controle do tipo p para saber a estabilidade do processo, detectar presença de causas especiais e por fim saber a taxa de itens defeituosos, ou seja, os defeitos por milhão (DPM). O mesmo procedimento foi realizado neste trabalho, sendo coletados dados suficientes para uma boa análise, dados esses como a produção diária e o número de sachês defeituosos. Os dados de produção e de itens defeituosos por dia de produção estão na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Produção e Unidades defeituosas Pós Plano de Ação

AMOSTRA	PRODUZIDO (SACHÊS) n(i)	UNIDADES DEFEITUOSAS (SACHÊS) (Di)
1	16540	242
2	15190	210
3	17233	266
4	17644	271
5	16778	229
6	17023	238
7	16082	251
8	17420	252
9	17897	264
10	17458	268
11	18230	278
12	14933	263

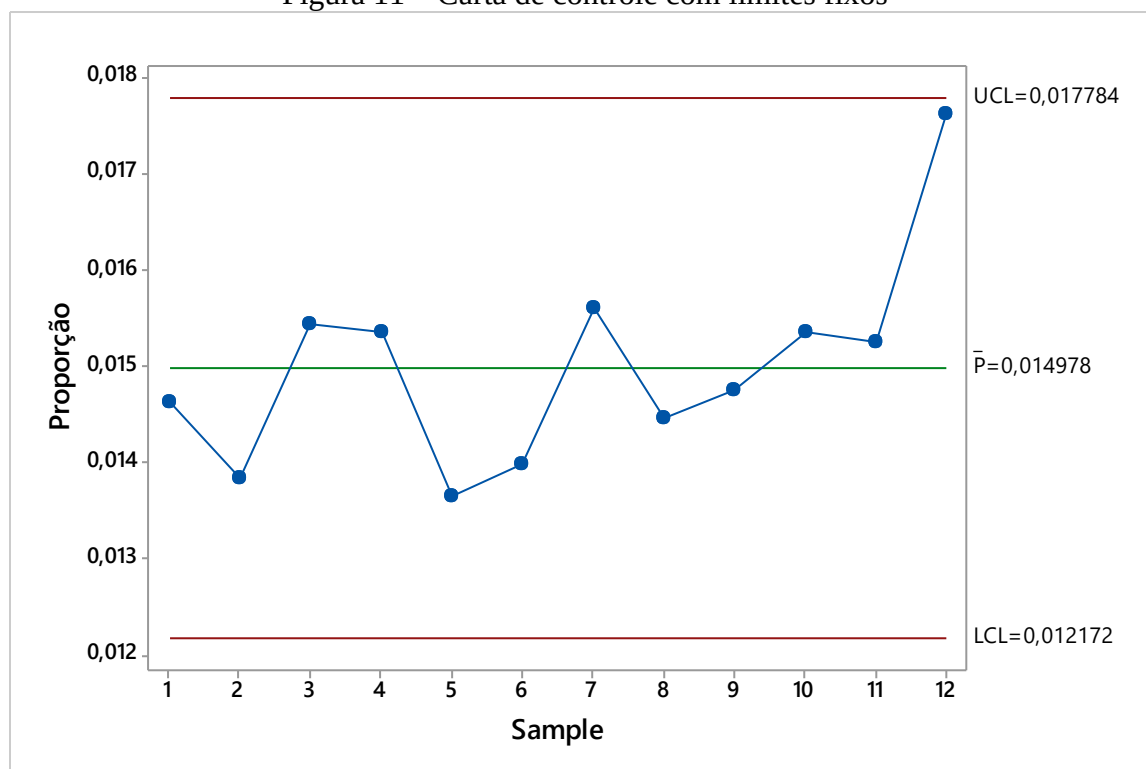
A partir dos dados coletados, foi feita a primeira análise da carta de controle criada, ou seja, foi observada a presença de causas especiais de variação e observado os limites de controle iniciais. Temos a carta de controle criada e os limites de controle iniciais na Figura 10.

Figura 9 – Carta de controle Inicial



Pode-se observar pela Figura 9 que o processo está sob controle estatístico, ou seja, não há presença de causas especiais de variação, sendo assim possível dar sequência com a análise. Para um futuro monitoramento online do processo fixamos a média de produção diária, pois os limites de controle da carta variam conforme a última amostra coletada. De acordo com a amostra, a média de produção diária é de 16869 sachês. É desejável ter limites de controle fixos para o monitoramento online. Na Figura 11 temos a carta de controle com a média de produção fixada e os limites de controle estabelecidos.

Figura 11 – Carta de controle com limites fixos



Podemos ver pela Figura 11 e através das Eq. 1, 2 e 3 que os limites de controle encontrado são:

$$UCL = 0.017784;$$

$$P = 0.014978;$$

$$LCL = 0.012172.$$

A partir dos limites de controle, já podemos analisar o DPM do processo e com isso validar o modelo. O cálculo do número de sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos é realizado através da Eq. 6:

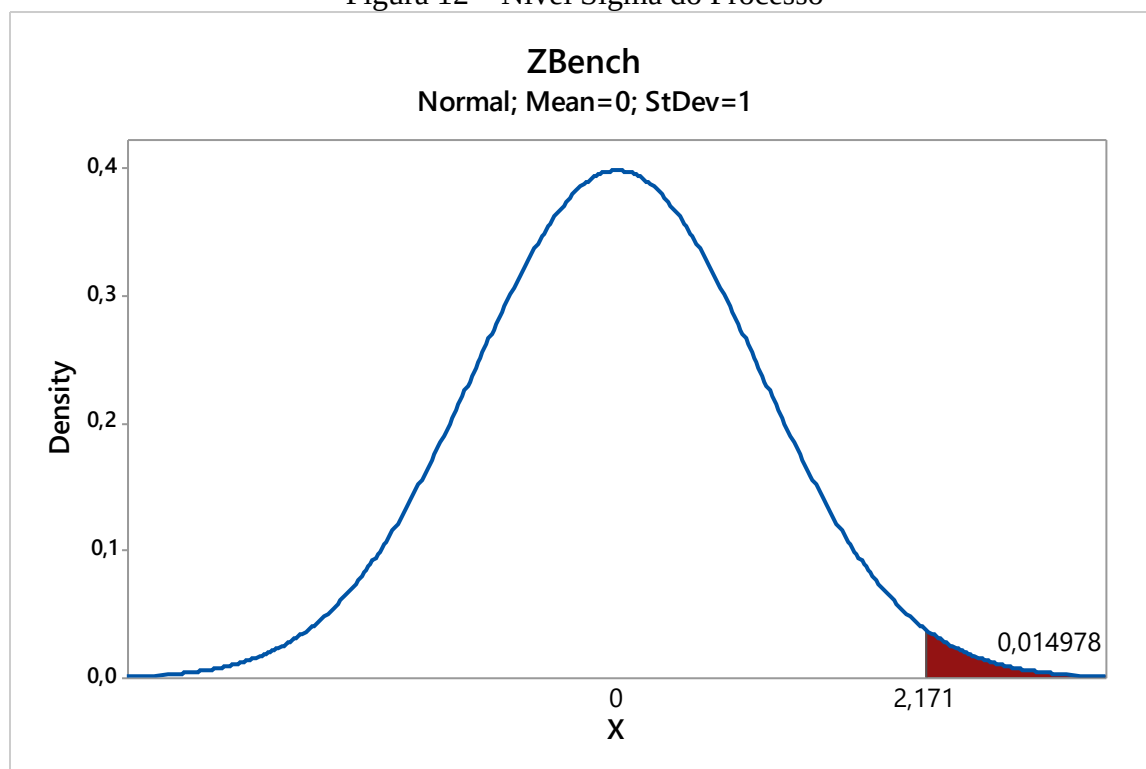
$$P = 0.014978;$$

$$DPM = 0.014978 * 10^6;$$

$$DPM = 14798.$$

Assim o DPM obtido é de 14798 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Para complementar a análise foi lançada a proporção de itens defeituosos $P = 0,014978$, em uma curva normal padronizada, com média igual a zero e desvio padrão igual a 1, $N(0,1)$, e assim encontramos o nível sigma do processo, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Nível Sigma do Processo



Podemos ver pela Figura 12, que o nível sigma do processo, o Zbench encontrado é:

$$Z_{bench} = 2\sigma;$$

3.3 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de um método quantitativo para análise e solução de problemas qualitativos, utilizando como ferramenta principal a análise de concordância por atributos. Composto por 6 passos sequenciais, utilizando-se de várias ferramentas difundidas, como o *brainstorming*, o diagrama de Ishikawa, e uma matriz de priorização, AAA, cartas de controle, análise de capacidade.

Na primeira reunião com os especialistas foram identificadas por eles, 36 possíveis causas para a taxa de defeitos por milhão. Essas causas foram encontradas através do *brainstorming* e classificadas de acordo com os 6M's do diagrama de Ishikawa. Logo após, cada especialista classificou cada uma das 36 causas de acordo com a matriz esforço impacto, em causa de alto esforço e baixo impacto, baixo esforço e baixo impacto, alto esforço e alto impacto e baixo esforço e alto impacto. Com essa classificação feita foi possível realizar a análise de concordância por atributos, selecionando o especialista 4 como padrão. A partir disso, analisamos a concordância dos especialistas com o padrão. Houve uma concordância dos

especialistas com o padrão de 38,89%, ou seja, das 36 causas, 14 foram classificadas igualmente entre os especialistas e o padrão. Foi encontrado o valor de *Kappa* para validar a análise, o valor foi de 0.582 e encontra-se dentro da faixa marginal segundo a Tabela 1, sendo assim considerada aceitável para esta análise. Realizou-se então a análise gráfica da análise de concordância por atributos.

A partir da análise gráfica foi criado um critério de priorização e eliminação das causas segundo a análise de concordância por atributos. Primeiro priorizar todas as causas classificadas em baixo esforço e alto impacto e com concordância maior ou igual a 80% segundo os gráficos. Segundo, eliminar todas as causas classificadas em alto esforço e baixo impacto com concordância maior ou igual a 80%. Em seguida priorizar todas as causas classificadas em alto esforço e alto impacto com concordância maior ou igual a 80%. E por fim eliminar todas as causas classificadas em baixo esforço e baixo impacto com concordância maior ou igual a 80%. Por fim restaram 12 causas para o plano de ação, enquanto 10 foram eliminadas e 14 remanescentes. Essas causas remanescentes, obtiveram baixa concordância entre os especialistas, sendo necessário fazer uma nova avaliação e descobrir a razão das baixas concordâncias.

Como dito anteriormente 12 causas foram selecionadas para o plano de ação de acordo com os critérios estabelecidos. As causas de baixo esforço e alto impacto puderam ser resolvidas a curto prazo, enquanto as de alto esforço e alto impacto a médio prazo. Até a escrita deste trabalho todas as causas a curto prazo do plano de ação foram resolvidas, com isso foi possível testar a validade o método criado.

Foi realizada então a coleta de 12 dias de produção para a criação da carta de controle, a primeira análise é saber se o processo está sob controle estatístico. Mediante a análise feita, foi notado que a carta de controle não apresentou nenhuma causa especial. Assim sendo, a média de produção foi fixada em 16869 sachês produzidos por dia, pois as amostras diárias de produção variam. Os limites de controle encontrados foram $UCL = 0.017784$, $P = 0.014978$ e $LCL = 0.012172$. Com o valor de $P = 0.014978$, chegou-se ao valor do $DPM = 14978$ sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos E por fim, foi encontrado o nível sigma do processo, equivalente a 2σ .

Diante das análises realizadas podemos concluir que o método foi eficaz nesta aplicação, pois antes da implementação, o DPM do processo era de 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Após a implementação do método este valor passou a ser em média 14798

sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Apesar do nível sigma ter permanecido o mesmo, houve uma redução de aproximadamente 30% do total de itens defeituosos.

Este trabalho trouxe uma aplicação de uma ferramenta quantitativa, a análise de concordância por atributos, em uma situação com problemas qualitativos. A análise de concordância por atributos comumente é utilizada para validação de sistemas de medição, e não como ferramenta de auxílio para problemas qualitativos. Para pesquisas futuras sugere-se a aplicação deste método para diferentes casos, para que assim possa de forma definitiva ser validado.

REFERÊNCIAS

AHMADABADI, Habib Zare *et al.* Developent of a new sesame product using QFD and DOE methods: A case study of sesame product in yazd. **Montenegrin Journal of Economics**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 27–44, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2018.14-1.2>

AIAG. **Measurement System Analysis**. [S. l.: s. n.]. v. 53E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

BENEVENE, Paula *et al.* A qualitative study on the perception of intellectual capital among a group of senior managers of Italian social enterprises. **Knowledge Management Research and Practice**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 161–171, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1538600>

BIANCHESI, Natalia Maria Puggina *et al.* A design of experiments comparative study on clustering methods. **IEEE Access**, [S. l.], v. 7, p. 167726–167738, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953528>

CHEN, Chun Cho; WU, Ching Sung; WU, Rebecca Chung Fern. e-Service enhancement priority matrix: The case of an IC foundry company. **Information and Management**, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 572–586, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.im.2006.01.002>

FLEISS, JOSEPH L.; LEVIN, BRUCE; PAIK, Myunghye Cho. **Statistical Methods for Rates and Proportions**. [S. l.: s. n.]. v. 60E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/0003-006X.60.6.656>

HOQUE, Imranul; HASLE, Peter; MAALOUF, Miguel Malek. Lean meeting buyer's expectations, enhanced supplier productivity and compliance capabilities in garment industry.

International Journal of Productivity and Performance Management, [S. l.], 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2019-0410>

IZIDORO, Jucicléia Teodoro de Lima; OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araújo Querido. Inovação E Criatividade : Aportes Necessários Para a Criação De Um Arranjo Produtivo Local De Agricultura Familiar No Município De Augustinópolis – Tocantins Innovation and Creativity : of Family Farming in the Municipality of Augustinópolis –. **Humanidades & Inovação**, [S. l.], v. 6, n. 12, p. 77–87, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/1191>

JAHANGOSHAI REZAEI, Mustafa *et al.* Risk analysis of sequential processes in food industry integrating multi-stage fuzzy cognitive map and process failure mode and effects analysis. **Computers and Industrial Engineering**, [S. l.], v. 123, n. July, p. 325–337, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.012>

KUBIAK, Thomas M.; BENBOW, Donald W. **The certified six sigma black belt handbook**. Quality Press, 2009.

LARI, Lamyia; JABEEN, Fauzia; IYANNA, Shilpa. Prioritising theme park service quality in Islamic contexts: an analytic hierarchy process approach. **International Journal of Culture, Tourism, and Hospitality Research**, [S. l.], n. May, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1108/IJCTHR-10-2018-0147>

LUO, Han *et al.* Constructions of an evaluation framework for soil and water conservation techniques. **Catena**, [S. l.], v. 186, n. June 2019, p. 104378, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104378>

MARQUES, Carlos *et al.* Improving operator evaluation skills for defect classification using training strategy supported by attribute agreement analysis. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, [S. l.], v. 119, n. January, p. 129–141, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.01.034>

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. **Development**, [S. l.], v. 134, n. 4, p. 635–646, 2009.

ORTIZ-BARRIOS, Miguel *et al.* A case of food supply chain management with AHP, DEMATEL, and TOPSIS. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, [S. l.], n. August, p. 1–25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mcda.1693>

OUYANG, Linhan *et al.* An interval probability-based FMEA model for risk assessment: A real-world case. **Quality and Reliability Engineering International**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 125–143, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qre.2563>

PIPATPRAPA, Anirut; HUANG, Hsiang Hsi; HUANG, Ching Hsu. Enhancing the effectiveness of AHP for environmental performance assessment of Thailand and Taiwan's food industry. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 190, n. 12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7113-5>

RAMÍREZ-RIVERA, Emmanuel de Jesús *et al.* Analytic hierarchy process as an alternative for the selection of vocabularies for sensory characterization and consumer preference. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/joss.12547>

SAYYADI TOORANLOO, Hossein; SAGHAFI, Sepideh. Assessing the risk of hospital information system implementation using IVIF FMEA approach. **International Journal of Healthcare Management**, [S. l.], v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/20479700.2019.1688504>

SOLTANALI, Hamzeh *et al.* Development of a risk-based maintenance decision making approach for automotive production line. **International Journal of Systems Assurance Engineering and Management**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 236–251, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00927-1>

VANANY, Iwan; MAARIF, Ghoffar Albab; SOON, Jan Mei. Application of multi-based quality function deployment (QFD) model to improve halal meat industry. **Journal of Islamic Marketing**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 97–124, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JIMA-10-2017-0119>

WANG, Tzu Yun; HSIAO, Hsin I.; SUNG, Wen Chieh. Quality function deployment modified for the food industry: An example of a granola bar. **Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 1746–1753, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1014>

XENARIOS, Stefanos *et al.* Gender differentiated impacts from weather extremes: Insight from rural communities in South India. **Environmental Development**, [S. l.], v. 24, n. May, p. 156–169, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.05.002>

ZAMAN, M. B. *et al.* Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the

Malacca Strait: Based on AIS data. **Journal of Simulation**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 91–104, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/jos.2013.9>

ZHANG, Yingwei; AN, Jiayu. Modeling and monitoring of multimode transition process based on reconstruction. **Information Sciences**, [S. l.], v. 279, p. 176–185, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.111>

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões da pesquisa visando o atendimento ao objetivo geral e os objetivos específicos, assim como a contribuição do trabalho e as sugestões para pesquisas futuras.

4.1 ATENDIMENTO AO OBJETIVO GERAL E AOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal é reduzir a taxa de itens defeituosos no processo de envase de sachês em uma indústria de alimentos, através de cartas de controle, análise de capacidade, matriz de priorização e análise de concordância de atributos. Para que isso fosse possível, foi necessário cumprir 5 objetivos específicos.

Objetivo específico I: Propor um método de implantação do controle estatístico do processo em uma indústria de alimentos no setor de envase de sachês de polpas de frutas;

Com o auxílio das recomendações de desenvolvimento e operações de cartas de controle ditos por Montgomery (2009) e AIAG (2005), foi possível adaptar e elaborar um método composto por 6 passos sequenciais para a implantação do CEP. Com o andamento do trabalho, além do método proposto, foi desenvolvido um procedimento de identificação de causas especiais para o setor de envase de sachês, que foi difundido pelo setor de produção e está em uso desde então.

Objetivo específico II: Garantir a estabilidade do processo de envase;

Após a identificação e das causas especiais através do procedimento proposto, foram feitas as correções e tomou-se os cuidados necessários para que não houvesse recorrência. Com isso o processo ficou sob controle estatístico e assim pode-se iniciar o monitoramento online.

Objetivo específico III: Realizar o monitoramento online do processo;

Para que o monitoramento online fosse possível, era necessário que o processo estivesse estável, ou seja, como dito anteriormente, sob controle estatístico. Após a estabilidade do processo, pode-se realizar o monitoramento online, e assim poder acompanhar a produção caso surgisse alguma nova causa especial e fosse possível sua correção e prevenção contra recorrência feita de maneira imediata.

Objetivo específico IV: Desenvolver um método de análise e solução de problemas qualitativos usando uma abordagem quantitativa;

Na primeira etapa da pesquisa foi encontrado o DPM do processo equivalente a 21170 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos. Devido a esse alta taxa de defeitos, decidiu-se buscar as causas raízes para esse problema, em conjunto com os especialistas do processo. Foram utilizadas técnicas difundidas como o *brainstorming* e o diagrama de Ishikawa com cada um dos especialistas. Em seguida cada especialista elencou todas as causas selecionadas por todos em uma matriz de priorização, após esta etapa, foi selecionado um especialista como padrão para que as análises estatísticas de concordância tivessem uma base. Após as análises estatísticas e gráficas, foi elaborado um plano de ação no formato do 5W11H para a solução das causas principais.

Objetivo específico V: Utilizar a análise de concordância por atributos como ferramenta de análise;

Como dito anteriormente, com a escolha de um especialista padrão para servir de referência para as análises estatísticas, foi feita a análise de concordância por atributos, onde obteve-se resultados aceitáveis de análise. Pôde-se, baseado na análise gráfica e em critérios de priorização e exclusão de causas do problema, selecionar 12 causas principais para o problema inicial, a alta taxa de defeitos.

A partir disso foi elaborado um plano de ação para resolução das causas do problema, com soluções de curto e médio prazo. As causas com soluções de curto prazo foram todas solucionadas até a escrita deste trabalho, e assim, pode-se validar o modelo baseado no DPM inicial, ou seja, equivalente a 21170 sachês defeituosos, e no DPM final, gerado através das cartas de controle. O DPM final foi equivalente a 14978 sachês defeituosos a cada 1 milhão produzidos.

Pode-se notar que após a implementação do método, e também após a solução apenas das causas de curto prazo, houve uma redução em torno de 30% do total de itens defeituosos, dessa forma validando o método apresentado no trabalho, como também cumprir o objetivo principal do trabalho de reduzir a taxa de itens defeituosos no processo de envase de sachês em uma indústria de alimentos, através de cartas de controle, análise de capacidade, matriz de priorização e análise de concordância de atributos.

4.2 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Diante do que foi exposto, em termos acadêmicos foi comprovado nesta pesquisa o benefício da implantação do controle estatístico do processo na indústria de alimentos. Vale ressaltar que esse trabalho irá servir como base de dados para a efetiva comprovação dos benefícios da aplicação do CEP em indústria de alimentos. Além disso, em termos práticos foram desenvolvidos métodos de implantação e operacionalização de cartas de controle e também de solução de problemas qualitativos por intermédio de uma ferramenta quantitativa aplicáveis.

Outra contribuição relevante, é a utilização da análise de concordância por atributos como forma de mitigar problemas qualitativos. Como dito no trabalho a análise de concordância é comumente utilizada para avaliar sistemas de medição e não em conjunto com métodos qualitativos.

Em síntese as contribuições deste trabalho podem ser descritas em pontos:

- Benefícios comprovados da implantação do CEP na indústria de alimentos;
- Base de dados para pesquisas sobre a efetiva comprovação dos benefícios da implantação do CEP na indústria de alimentos;
- Método de implantação e operacionalização de cartas de controle;
- Desenvolvimento de um procedimento de identificação de causas especiais de variação para o setor de envase de sachês de polpas de frutas;
- Método de solução de problemas qualitativos através de uma abordagem quantitativa;
- Utilização da análise de concordância de atributos como ferramenta na solução de problemas qualitativos.

Sabe-se que as aplicações de cada método foram únicas e em um ambiente específico. Sugere-se para pesquisas futuras a tentativa de validação dos métodos para diferentes casos em diferentes ambientes. Não só ambientes de manufatura, mas também de serviços, obviamente realizando as devidas adaptações necessárias a cada caso. Para que assim os métodos sejam validados sem dúvidas quanto à sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

- AHMADABADI, H. Z.; ZAMZAM, F.; MEYBODI, F. R.; STREIMIKIENE, D.; MARDANI, A. Developent of a new sesame product using QFD and DOE methods: A case study of sesame product in yazd. **Montenegrin Journal of Economics**, v. 14, n. 1, p. 27–44, 2018.
- AIAG. Statistical Process Control SPC. **Journal of Visual Languages & Computing**, v. 11, n. 3, p. 287–301, 2005.
- AIAG. **Measurement System Analysis**. 2010.
- AUGUSTIN, J. C.; MINVIELLE, B. Design of control charts to monitor the microbiological contamination of pork meat cuts. **Food Control**, v. 19, n. 1, p. 82–97, 2008.
- BENEVEENE, P.; KONG, E.; DE CARLO, A.; LUCCHESI, M.; CORTINI, M. A qualitative study on the perception of intellectual capital among a group of senior managers of Italian social enterprises. **Knowledge Management Research and Practice**, v. 17, n. 2, p. 161–171, 2019. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1538600>>. .
- BIANCHESI, N. M. P.; ROMAO, E. L.; LOPES, M. F. B. P.; BALESTRASSI, P. P.; DE PAIVA, A. P. A design of experiments comparative study on clustering methods. **IEEE Access**, v. 7, p. 167726–167738, 2019.
- BIZUNEH, B.; WANG, F. K. A double exponentially weighted moving average chart based on likelihood ratio for monitoring an inflated Pareto process. **Quality and Reliability Engineering International**, , n. September 2018, p. 1–18, 2019.
- CHEN, C. C.; WU, C. S.; WU, R. C. F. e-Service enhancement priority matrix: The case of an IC foundry company. **Information and Management**, v. 43, n. 5, p. 572–586, 2006.
- DZWOLAK, W. Assessment of HACCP plans in standardized food safety management systems – The case of small-sized Polish food businesses. **Food Control**, v. 106, n. March, p. 106716, 2019. Elsevier.
- EBADI, M.; AHMADI-JAVID, A. Control charts for monitoring multi-stage service processes with optimal queue performance. **Communications in Statistics: Simulation and Computation**, v. 0, n. 0, p. 1–13, 2019. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03610918.2018.1520872>>. .
- FLEISS, JOSEPH L.; LEVIN, BRUCE; PAIK, M. C. **Statistical Methods for Rates and Proportions**. 2013.
- GAURI, S. K. Statistical process control procedures for controlling the weight of packets of biscuits. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 14, n. 5, p. 529–539, 2003.

Technology, v. 37, n. 2, p. 137–151, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.010>>. .

LUO, H.; HU, X.; XIE, Y.; WANG, J.; GUO, M. Constructions of an evaluation framework for soil and water conservation techniques. **Catena**, v. 186, n. June 2019, p. 104378, 2020.

Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104378>>. .

MARQUES, C.; LOPES, N.; SANTOS, G.; DELGADO, I.; DELGADO, P. Improving operator evaluation skills for defect classification using training strategy supported by attribute agreement analysis. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 119, n. January, p. 129–141, 2018. Elsevier. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.01.034>>. .

MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. **Development**, v. 134, n. 4, p. 635–646, 2009.

NEGIZ, A.; RAMANAUSKAS, P.; ÇINAR, A.; SCHLESSER, J. E.; ARMSTRONG, D. J. Modeling, monitoring and control strategies for high temperature short time pasteurization systems - 3. Statistical monitoring of product lethality and process sensor reliability. **Food Control**, v. 9, n. 1, p. 29–47, 1998.

NGUYEN, H. DU; TRAN, K. P.; HEUCHENNE, C. Monitoring the ratio of two normal variables using variable sampling interval exponentially weighted moving average control charts. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 35, n. 1, p. 439–460, 2019.

NIGEL P. GRIGG, J. D. Case StudyL the use of statistical process control in fish product packaging. **Food Control**, 1998.

DE OLIVEIRA SILVA, M.; DE JESUS SOARES, A. B.; MAZUTTI, M. A.; DALLA ROSA, C.; ALVARADO SOARES, M. B. Statistical process control for industrial baking process of smoked CALABRESE-type sausage. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 8, p. 1–8, 2019.

OOI, K.-B. TQM: A facilitator to enhance knowledge management? A structural analysis.

Veterinary Microbiology, v. 135, n. 3–4, p. 320–326, 2009. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2014.03.013>>. .

ORTIZ-BARRIOS, M.; MIRANDA-DE LA HOZ, C.; LÓPEZ-MEZA, P.; PETRILLO, A.; DE FELICE, F. A case of food supply chain management with AHP, DEMATEL, and TOPSIS. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, , n. August, p. 1–25, 2019.

OUYANG, L.; ZHENG, W.; ZHU, Y.; ZHOU, X. An interval probability-based FMEA model for risk assessment: A real-world case. **Quality and Reliability Engineering**

International, v. 36, n. 1, p. 125–143, 2020.

ÖZDEMİR, M.; ÖZILGEN, M. Comparison of the quality of hazelnuts unshelled with different sizing and cracking systems. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, v. 67, n. 3, p. 219–227, 1997.

PABLE, A.; LU, S.; AUERBACH, J. Integrated qualitative/quantitative techniques for food product quality planning. **Journal of Food Quality**, v. 33, n. 1, p. 112–129, 2010.

PIPATPRAPA, A.; HUANG, H. H.; HUANG, C. H. Enhancing the effectiveness of AHP for environmental performance assessment of Thailand and Taiwan's food industry.

Environmental Monitoring and Assessment, v. 190, n. 12, 2018.

PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **METODOLOGIA DO TRABALHO CINETÍFICO: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2013.

RAI, B. K. Implementation of statistical process control in an Indian tea packaging company. **International Journal of Business Excellence**, v. 1, n. 1/2, p. 160, 2008.

RAMÍREZ-RIVERA, E. DE J.; MORALES-CARRERA, U. A.; LIMÓN-RIVERA, R.; et al. Analytic hierarchy process as an alternative for the selection of vocabularies for sensory characterization and consumer preference. **Journal of Sensory Studies**, v. 35, n. 1, p. 1–11, 2020.

SAYYADI TOORANLOO, H.; SAGHAFI, S. Assessing the risk of hospital information system implementation using IVIF FMEA approach. **International Journal of Healthcare Management**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/20479700.2019.1688504>>. .

SOLTANALI, H.; ROHANI, A.; ABBASPOUR-FARD, M. H.; PARIDA, A.; FARINHA, J. T. Development of a risk-based maintenance decision making approach for automotive production line. **International Journal of Systems Assurance Engineering and Management**, v. 11, n. 1, p. 236–251, 2020.

SRIKAEAO, K.; FURST, J. E.; ASHTON, J. Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. **Food Control**, v. 16, n. 4, p. 309–317, 2005.

VANANY, I.; MAARIF, G. A.; SOON, J. M. Application of multi-based quality function deployment (QFD) model to improve halal meat industry. **Journal of Islamic Marketing**, v. 10, n. 1, p. 97–124, 2019.

VINING, G.; KULAHCI, M.; PEDERSEN, S. Recent Advances and Future Directions for Quality Engineering. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 32, n. 3, p. 863–875, 2016.

WANG, T. Y.; HSIAO, H. I.; SUNG, W. C. Quality function deployment modified for the food industry: An example of a granola bar. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 5, p. 1746–1753, 2019.

XENARIOS, S.; KAKUMANU, K. R.; NAGOTHU, U. S.; KOTAPATI, G. R. Gender differentiated impacts from weather extremes: Insight from rural communities in South India. **Environmental Development**, v. 24, n. May, p. 156–169, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2017.05.002>>. .

ZAMAN, M. B.; KOBAYASHI, E.; WAKABAYASHI, N.; et al. Fuzzy FMEA model for risk evaluation of ship collisions in the Malacca Strait: Based on AIS data. **Journal of Simulation**, v. 8, n. 1, p. 91–104, 2014. Nature Publishing Group. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1057/jos.2013.9>>. .

ZHANG, Y.; AN, J. Modeling and monitoring of multimode transition process based on reconstruction. **Information Sciences**, v. 279, p. 176–185, 2014. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.111>>. .