



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FERNANDA LOPES DA SILVA

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À REDUÇÃO DE DEFEITOS
EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS**

Recife

2024

FERNANDA LOPES DA SILVA

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À REDUÇÃO DE DEFEITOS
EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Fernanda Araújo Honorato.

Recife

2024

FERNANDA LOPES DA SILVA

**FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À REDUÇÃO DE DEFEITOS
EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Aprovado em: 15/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA ARAUJO HONORATO**
Data: 16/10/2024 09:19:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Fernanda Araújo Honorato (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **FELIPE PEDRO DA COSTA GOMES**
Data: 31/10/2024 10:21:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Felipe Pedro Da Costa Gomes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **ANDRELINA MARIA PINHEIRO SANTOS**
Data: 31/10/2024 09:32:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Andrelina Maria Pinheiro Santos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Fernanda Lopes da.

Ferramentas da qualidade aplicadas à redução de defeitos em embalagens alimentícias / Fernanda Lopes da Silva. - Recife, 2024.

53 : il., tab.

Orientador(a): Fernanda Araújo Honorato

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Ciclo PDCA. 2. Indústria alimentícia. 3. Selagem por calor. 4. Melhoria Continua. I. Honorato, Fernanda Araújo. (Orientação). II. Título.

660 CDD (22.ed.)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família, minha mãe, Alcione Lopes, meu pai, José Faustino da Silva Neto e minha irmã, Amanda Lopes, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo amor, apoio e incentivo em todos os momentos. Vocês são a minha base e sem vocês, nada disso seria possível. Tudo que eu sou e tudo que eu tenho é graças a vocês. Amo-os com todo meu coração.

Meu agradecimento ao meu namorado, Marcus Vinícius. Seu amor, compreensão e suporte emocional foram fundamentais para que eu conseguisse enfrentar os desafios dessa jornada. Obrigada por estar ao meu lado, celebrando as conquistas e apoiando nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, obrigada por estarem sempre disponíveis para ouvir, apoiar e motivar. As conversas, risadas e momentos juntos foram essenciais para superar os desafios desta jornada.

Aos meus professores, especialmente Fernanda Honorato, agradeço por suas orientações, conhecimentos e pelo compromisso em me guiar nesse processo de aprendizado.

Aos meus colegas de trabalho, em especial meu gestor Felipe Gomes, agradeço pela confiança depositada em mim e pela oportunidade de desenvolver habilidades essenciais durante esse período. Vocês foram cruciais para minha formação profissional e me ajudaram a aplicar os conhecimentos teóricos na prática.

Um agradecimento especial à Universidade Federal de Pernambuco, por proporcionar um ambiente de aprendizado rico e estimulante. A infraestrutura, os recursos e a formação de qualidade foram fundamentais para minha educação e desenvolvimento pessoal e profissional.

Por fim, a todos que, de alguma forma, participaram dessa caminhada, meu sincero agradecimento.

RESUMO

A melhoria contínua é fundamental no cenário atual de produção em grande escala, caracterizado por rápidas mudanças tecnológicas e alta competitividade. Esse conceito visa aprimorar processos, produtos e serviços de forma sistemática e sucessiva, aumentando a eficiência operacional. Na indústria alimentícia, em particular, garantir a qualidade é fundamental, especialmente em processos críticos como a selagem de embalagens, essencial para manter a integridade dos alimentos. Defeitos nesse processo podem comprometer a segurança alimentar e a qualidade dos produtos. Sendo assim, este estudo aplicou o ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar, Agir), suportado por outras ferramentas, para reduzir defeitos de selagem em embalagens de produtos alimentícios, a fim de proporcionar melhoria contínua e redução de desperdício. O ciclo PDCA, uma metodologia amplamente utilizada em iniciativas de melhoria contínua, permite uma abordagem estruturada para a identificação de problemas e implementação de soluções. No caso da selagem de embalagens por calor, processo utilizado neste estudo, o PDCA foi aplicado para reduzir falhas na selagem hermética das embalagens, a fim de garantir a qualidade do produto, reduzir desperdício e a insatisfação do consumidor. A utilização de ferramentas como o diagrama de Ishikawa, brainstorming e a metodologia 5W2H possibilitou a análise das causas dos defeitos nas diferentes etapas do ciclo PDCA, além da definição de ações corretivas. A metodologia consistiu na aplicação do PDCA na etapa de embalagens em linha de produção alimentícia baseado no parâmetro textura. Uma equipe multidisciplinar realizou um brainstorming para identificar as possíveis fontes de defeitos, que foram elencadas no diagrama de Ishikawa. Com base nas causas levantadas, foi elaborado um plano de ação detalhado utilizando a técnica 5W2H, que orientou a implementação das mudanças necessárias no processo. Após a aplicação do ciclo PDCA, observou-se uma redução significativa nos defeitos de selagem, com uma diminuição de 78,65% em média de reclamações de consumidores por textura. Entre os principais fatores que contribuíram para essa melhoria destacam-se a otimização dos parâmetros do equipamento, programa de manutenção preventiva e a capacitação dos operadores no processo. A redução de defeitos otimizou o processo da selagem do produto, reduziu perdas e diminuiu a insatisfação dos consumidores.

Palavras-chave: Ciclo PDCA, Indústria alimentícia, selagem por calor, melhoria contínua.

ABSTRACT

Continuous improvement is essential in today's large-scale production industry, characterized by rapid technological changes and intense competitiveness. This concept aims to systematically and progressively enhance processes, products, and services, thus increasing operational efficiency. In the food industry, ensuring quality is particularly critical, especially in key processes like packaging sealing, which is vital for maintaining the integrity of food products. Defects in this process can compromise food safety and product quality. Therefore, this study applied the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act), supported by additional tools, to reduce sealing defects in food packaging, aiming to promote continuous improvement and reduce waste. The PDCA cycle, a widely used methodology in continuous improvement initiatives, enables a structured approach to identifying problems and implementing solutions. In the case of heat-sealing packaging, the process used in this study, PDCA was applied to reduce failures in hermetic seals, ensuring product quality, minimizing waste, and reducing consumer dissatisfaction. Tools such as the Ishikawa diagram, brainstorming, and the 5W2H methodology facilitated the analysis of defect causes at different stages of the PDCA cycle and the definition of corrective actions. The methodology involved applying the PDCA cycle in the packaging stage of a food production line, focusing on the parameter of texture. A multidisciplinary team conducted brainstorming sessions to identify potential sources of defects, which were mapped out in the Ishikawa diagram. Based on the identified causes, a detailed action plan was developed using the 5W2H technique, guiding the implementation of necessary changes in the process. After applying the PDCA cycle, a significant reduction in sealing defects was observed, with an average decrease of 78.65% in consumer complaints related to texture. Key factors contributing to this improvement included the optimization of equipment parameters, the implementation of a preventive maintenance program, and the training of operators in the sealing process. This reduction in defects optimized the product sealing process, reduced waste, and lowered consumer dissatisfaction.

Keywords: PDCA Cycle, Food Industry, Heat Sealing, Continuous Improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Tipos de selagem por calor, selagem em aleta e selagem sobreposta.	17
Figura 2	Barra de selagem aquecida	22
Figura 3	Representação das etapas do ciclo PDCA	25
Figura 4	Representação do diagrama de causa e efeito.	28
Figura 5	Fluxograma do processo produtivo	31
Figura 6	Número de reclamações totais.	36
Figura 7	Diagrama causa e efeito para problemas de selagem.	37
Figura 8	Dados de PPM de defeitos de selagem entre janeiro e junho de 2024	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Cronograma do projeto	32
Tabela 2	Plano de ação 5W2H	38
Tabela 3	Cronograma do PDCA	46
Tabela 4	Número de reclamações por textura	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5W2H	<i>What, Who, Where, When, Why, How, How Much</i>
6M	Método, Matéria-prima, Mão de obra, Máquinas, Medição e Meio ambiente
ABIA	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos
ABIEF	Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Flexíveis
EVA	Acetato-vinilo de etileno
EVOH	Álcool etileno vinílico
IRC	Índice de Reclamação do Consumidor
NA	Não se aplica
OPP	Polipropileno Orientado
PA	Poliamida
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PDSA	<i>Plan, Do, Study, Act</i>
PE	Polietileno
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PTFE	Politetrafluoretileno
PP	Polipropileno
PPM	Partes Por Milhão
PVC	Policloreto de vinila

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ESTADO DA ARTE	15
2.1	INDÚSTRIA DE ALIMENTOS NO BRASIL	15
2.2	MÉTODOS E TIPOS DE SELAGEM DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS	15
2.2.1	Selagem por Calor	16
2.2.2	Tipos de selagem por calor	18
2.2.3	Fatores que alteram a selagem.....	20
2.2.4	Principais problemas na selagem por calor	22
2.3	OUTROS TIPOS DE SELAGEM	22
2.3.1	Selagem com Zíper	22
2.3.2	Selagem a frio por pressão	23
2.4	CICLO PDCA	23
2.5	FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E PLANEJAMENTO DO CICLO PDCA	27
2.5.1	Brainstorming	27
2.5.2	Diagrama de Causa e Efeito.....	27
2.5.3	Metodologia 5W2H.....	28
2.5.4	PPM de defeitos	28
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
3.2	MAPEAMENTO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DA EQUIPE	30
3.3	ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA.....	33
3.3.1	Etapa 1: Planejar (<i>Plan</i>)	33
3.3.2	Etapa 2: Fazer (<i>Do</i>)	34
3.3.3	Etapa 3: Checar (<i>Check</i>).....	34
3.3.4	Etapa 4: Agir (<i>Act</i>).....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA.....	36
4.1.1	Fase de Planejamento (<i>Plan</i>)	36

4.1.2	Fase de Execução (<i>Do</i>).....	46
4.1.3	Fase de verificação (<i>Check</i>).....	46
4.1.4	Fase de agir (<i>Act</i>).....	48
4.2	ATINGIMENTO DA META.....	49
4.3	EFICÁCIA DA METODOLOGIA AVALIADA.....	49
5	CONCLUSÃO.....	51
6	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A melhoria contínua é crucial no cenário atual de produção em grande escala, caracterizado por rápidas mudanças tecnológicas e um mercado altamente competitivo. O conceito de melhoria contínua visa aprimorar processos, produtos e serviços de forma sistemática e incremental. Este enfoque não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também fomenta a inovação e a adaptação constante às necessidades e expectativas dos clientes (Rose, 2022). A melhoria contínua envolve uma cultura organizacional que incentiva a busca incessante por excelência, onde todos os colaboradores estão engajados em identificar e implementar melhorias. Através da utilização de ferramentas e metodologias específicas, como o ciclo PDCA, *Six Sigma* e *Lean Manufacturing*, as empresas conseguem reduzir desperdícios, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de seus produtos e serviços. Além disso, a melhoria contínua promove um ambiente de aprendizado constante, onde o *feedback* é valorizado e as melhores práticas são compartilhadas e adotadas em toda a organização (Werkema, 2013).

A Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, tem revolucionado a maneira como as indústrias operam, integrando tecnologias avançadas como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), *big data* e automação. Essas tecnologias permitem um monitoramento e controle mais precisos dos processos produtivos, aumentando a eficiência e a qualidade dos produtos. Na melhoria contínua, a Indústria 4.0 desempenha um papel fundamental ao fornecer dados em tempo real e *insights* analíticos, facilitando a identificação de problemas e a implementação de soluções rápidas e eficazes. Isso resulta em processos mais ágeis e flexíveis, capazes de se adaptar rapidamente às mudanças do mercado e às demandas dos consumidores (Schwab, 2016).

O ciclo PDCA, sigla para Planejar, Fazer, Checar e Agir, é uma ferramenta essencial para a gestão da qualidade e melhoria contínua em diversas organizações. Criado inicialmente por Walter Shewhart e popularizado por William Edwards Deming, o PDCA tornou-se um modelo global de referência para a solução sistemática de problemas e a otimização de processos. Sua importância é evidenciada pela capacidade de fomentar um ambiente de aprimoramento constante, onde as decisões são baseadas em dados concretos e a aprendizagem organizacional é contínua (Andrade, 2003; Deming, 1990).

No setor alimentício, a crescente exigência dos consumidores por produtos de alta qualidade e o aumento da competitividade tornam essencial garantir uma apresentação atraente e a preservação das características sensoriais e físicas dos alimentos. Nesse contexto, as embalagens desempenham um papel crítico. Elas não apenas protegem os alimentos contra danos e contaminações, mas também influenciam diretamente a experiência do consumidor. As embalagens e o sistema de selagem adequados ajudam a manter a frescura, o sabor e a textura dos alimentos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Flexíveis (ABIEF), a indústria de alimentos é a maior consumidora de embalagens plásticas no Brasil, embarcando um consumo de 901 mil toneladas em 2023. Esse valor representa um aumento de 2,8% em relação a 2022, e a tendência é que continue a crescer ano após ano. Portanto, investir em embalagens e processos de alta qualidade é fundamental para atender às expectativas dos consumidores e garantir o sucesso no mercado.

O propósito deste estudo é empregar o método PDCA em um processo produtivo no setor de alimentos, com o intuito de diminuir defeitos de qualidade de selagem nas embalagens, aprimorando de forma contínua o processo produtivo. Pretende-se entender o cenário que envolve o problema, identificar as principais causas, propor correções e melhorias, estabelecendo metas de redução dos defeitos e garantindo a manutenção dos resultados obtidos.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 INDÚSTRIA DE ALIMENTOS NO BRASIL

A trajetória do processamento de alimentos no Brasil remonta ao início do século XX, com a industrialização crescente e a urbanização acelerada que aumentaram a demanda por alimentos processados. Nas décadas subsequentes, especialmente a partir dos anos 1950, o país viu uma expansão considerável desse segmento, impulsionada por políticas de incentivo à industrialização e à modernização agrícola (IFOPE, 2021). Desde então, o setor tem evoluído, acompanhando as tendências globais e incorporando inovações tecnológicas para atender a um mercado cada vez mais exigente.

O mercado de alimentos no Brasil representa 10,8% do PIB nacional, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA), com uma produção aproximada de 270 milhões de toneladas. Sendo processado 60,9% desse volume pela indústria. O setor está em crescimento, registrando um aumento de 7,2% no faturamento e de 5,1% na produção em 2023 em relação a 2022.

As embalagens desempenham um papel vital na indústria de alimentos processados, não apenas protegendo os produtos, mas também estendendo sua vida útil e garantindo a segurança alimentar. No Brasil, houve avanços significativos na tecnologia de embalagens, com a adoção de materiais mais sustentáveis e técnicas avançadas de selagem. A selagem eficiente é essencial para manter a integridade dos produtos e evitar contaminações (Vanderroost et al., 2014).

2.2 MÉTODOS E TIPOS DE SELAGEM DE EMBALAGENS DE ALIMENTOS

A selagem de embalagens de alimentos desempenha um papel fundamental na preservação da qualidade, segurança e vida útil dos produtos alimentícios, garantindo sua integridade durante o transporte, armazenamento e distribuição. Diversos métodos e tipos de selagem são empregados na indústria de embalagens alimentícias, cada um com suas características distintas e aplicações específicas. (Robertson, 2013).

As embalagens alimentares podem ser primárias, secundárias e terciárias. As embalagens primárias são as que entram em contato direto com o alimento e fornece a principal barreira de qualidade e proteção. Existem diversos tipos de embalagens primárias na indústria alimentícia, variando principalmente com a categoria de

alimento produzido, indo desde latas de metal, potes de vidro a embalagens flexíveis. As embalagens secundárias têm a função de acondicionar uma certa quantidade de produtos de embalagens primárias, normalmente são caixas de papelão, promovendo uma barreira resistente contra danos físicos e facilitando o transporte e o armazenamento no ponto de venda. Por último as embalagens terciárias são compostas por uma série de embalagens primárias, sendo usualmente um pallet envolto em filme plástico, que permite transportar grandes quantidades de maneira ordenada e segura (Subramaniam, 2016).

2.2.1 Selagem por Calor

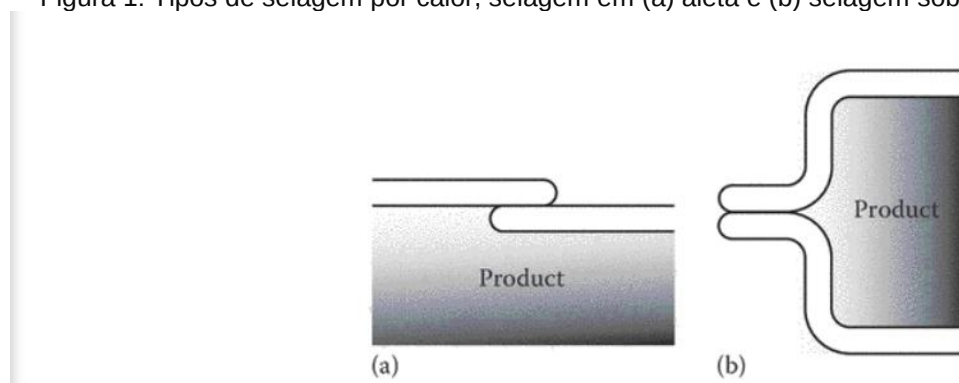
A selagem por calor é um método amplamente utilizado na indústria alimentícia e busca a preservação da integridade das embalagens e a manutenção da qualidade dos alimentos. Este processo utiliza calor e pressão para fundir um filme com outro ou com um recipiente rígido para criar uma camada hermética, de forma a gerar uma vedação segura, prevenindo a contaminação e a alteração da umidade do produto. Este método de selagem é amplamente empregado em embalagens de alimentos secos e perecíveis, como carnes, queijos e *snacks*. As embalagens comumente associadas a essa técnica incluem filmes plásticos multicamadas e sacos laminados, que oferecem flexibilidade e resistência a condições adversas de armazenamento e transporte. Filmes plásticos como polietileno (PE), polipropileno (PP) e de politereftalato de etileno (PET) são largamente utilizados devido à sua capacidade de formar uma barreira eficaz contra umidade e oxigênio, além de promover maior resistência e rigidez. Outra opção são os laminados, compostos por camadas de alumínio, plásticos ou papelão (Han, 2007). E embalagens *retort*, que suportam altas temperaturas durante o processamento, são essenciais para garantir a segurança e qualidade de alimentos, principalmente os em conserva (Brody, 2017).

A escolha do material ideal para cada aplicação deve envolver uma análise das características do alimento e dos benefícios que a embalagem deve promover, sendo importante analisar pontos como: capacidade de selagem, não interferir na qualidade, não transferindo sabores, aromas ou colorações para o produto, facilidade de abertura pelo consumidor e ser a prova de violação. Ainda no âmbito da selagem térmica deve ser avaliada a resistência da termossoldagem enquanto ainda está quente, logo após a selagem, antes que o polímero fundido recristalize e alcance a temperatura

ambiente, conhecida como *hot tack*, esse parâmetro deve ser tal que resista às forças de abertura durante o empacotamento, até o total resfriamento da área de selagem (Morris, 2022).

Há duas maneiras principais de unir o filme e promover a selagem. A selagem em aleta ocorre quando a superfície interna do filme é unida contra ela mesma, sendo frequentemente utilizada para as selagens superior e inferior. Por outro lado, a selagem sobreposta é caracterizada por a superfície interna do filme ser selada contra a superfície oposta (externa), sendo tipicamente empregada para a selagem longitudinal ou traseira, como pode ser observado na Figura 1, onde a representação (a) indica a selagem em aleta e, a (b) a selagem sobreposta (Robertson, 2013).

Figura 1: Tipos de selagem por calor, selagem em (a) aleta e (b) selagem sobreposta.



Fonte: Adaptado de Robertson, 2013.

A selagem pode ser realizada longitudinalmente ao longo do comprimento da embalagem ou transversalmente, perpendicularmente ao comprimento. A selagem longitudinal é usada para criar uma vedação ao longo do comprimento da embalagem, enquanto a selagem transversal garante a vedação completa e segura (Han, 2014).

As duas principais técnicas de aplicação de selagem por calor são a selagem térmica direta e a indireta.

Selagem térmica direta: Neste método, a vedação é formada pela aplicação de calor diretamente na superfície da embalagem. Um exemplo comum é a selagem por condutância, também conhecida como de seladores de resistência ou de barra, consiste em dois mordentes ou barras metálicas que são aquecidos eletricamente e tem a sua temperatura controlada por termostatos. Nesse sistema um dos mordentes ou barras pode não ser aquecido, e sim revestido com um material resiliente para uniformizar a pressão e a temperatura aplicada no filme, há ainda sistemas onde o mordente não é aquecido e sim resfriado com água. Nos equipamentos que utilizam

mordentes esses são comumente arredondados nas bordas para evitar rasgar ou perfurar o filme. Pode-se ainda ter mordentes serrilhados, os quais são usados para melhorar o contato entre as camadas de filme e aplicar uma pressão local mais alta, o que é benéfico para a integridade e a aparência da selagem. O tempo de contato das barras com o filme, a pressão aplicada e a temperatura utilizada são fatores decisivos para se ter uma selagem eficiente, esses fatores devem ser de fácil ajuste no equipamento. Esse processo é amplamente utilizado em embalagens flexíveis, como sacos plásticos e filmes laminados (Robertson, 2013).

Selagem térmica indireta: Nesse processo, o calor é transferido para a embalagem por meio de um material de vedação, como uma fita adesiva termosselável. A aplicação de calor ativa o adesivo, criando uma vedação forte entre as camadas da embalagem. Esta técnica é comumente utilizada em embalagens de papelão revestido com polímeros, como caixas de leite e suco (Brody, 2017).

2.2.2 Tipos de selagem por calor

2.2.2.1 Selagem por impulso

Selagem por Impulso é um método utilizado para selar materiais termosseláveis, como PE e PP, onde as superfícies da embalagem são prensadas entre duas barras de metal frio e fundidas pela aplicação de uma corrente elétrica em um fio de níquel-cromo. O aquecimento ocorre por um curto período, seguido de resfriamento sob pressão, garantindo uma vedação firme. O processo é ajustado por dois temporizadores: um controla o aquecimento e o outro o resfriamento, evitando deformações. Embora eficaz, o método exige manutenção frequente devido ao desgaste do fio e das coberturas de liberação (Yam, 2009).

2.2.2.2 Selagem dielétrica

A selagem dielétrica, também conhecida como selagem por radiofrequência, é um método sofisticado de selagem que utiliza energia elétrica de alta frequência (50–80 MHz) para unir materiais poliméricos, aquecendo apenas a área desejada enquanto o instrumento permanece frio. Essa energia é então passada através de duas ou mais camadas de filme, onde os dipolos dos polímeros oscilam em resposta ao campo elétrico alternado, gerando calor devido à resistência molecular, o que resulta na fusão do polímero. Os eletrodos, geralmente feitos de latão, funcionam como as mandíbulas superior e inferior do equipamento, sendo a mandíbula inferior o

ponto de aterramento do circuito. A pressão exercida pelos eletrodos sobre os filmes auxilia na fusão completa e na criação de uma vedação durável. A selagem dielétrica é aplicável apenas a materiais polares, como acetato-vinilo de etileno (EVA), álcool etileno vinílico (EVOH), poliamida (PA), polietileno tereftalato (PET) e policloreto de vinila (PVC), oferecendo controle excepcional sobre o processo, ideal para filmes que degradam em altas temperaturas (Robertson, 2013).

2.2.2.3 Selagem por indução

A selagem por indução é um método eficiente e não-contato de selagem térmica que utiliza um campo eletromagnético de alta frequência para gerar calor localizado em camadas metálicas revestidas com selantes termoplásticos. O processo envolve a aplicação de uma corrente alternada de 20–30 kHz através de uma bobina, criando correntes parasitas no metal, que aquecem e derretem o selante sem contato direto entre a bobina e a embalagem. Esse método é amplamente utilizado para selar diafragmas ou selos internos em frascos e garrafas, garantindo uma vedação hermética e evidência de violação, principalmente sob tampas roscadas. Outra vantagem significativa da selagem por indução é sua capacidade de selar materiais termoplásticos que são difíceis com outros métodos, que tendem a degradar em altas temperaturas. Além disso, a tecnologia permite selar materiais compostos com camadas isolantes térmicas espessas, que seriam inatingíveis por outros processos. O método não exerce força mecânica sobre o material, tornando-o uma solução versátil e eficaz para uma ampla gama de aplicações de embalagem (Yam, 2009; Robertson, 2013).

2.2.2.4 Selagem ultrassônica

A técnica de selagem ultrassônica envolve a conversão de energia elétrica em vibrações mecânicas de alta frequência, geralmente entre 20 e 40 kHz. Essas vibrações são direcionadas para a interface dos materiais a serem selados, onde o calor gerado resulta em uma soldagem quase instantânea, sem aquecer significativamente o restante do material. Isso permite que filmes orientados sejam selados sem alterações dimensionais, tornando o método ideal para materiais mais espessos, onde a transferência de calor por condução seria ineficaz. A pressão, a

temperatura e o tempo de exposição são ajustados para obter a qualidade desejada (Robertson, 2013; Yam, 2009).

Uma das principais vantagens da selagem ultrassônica é a sua capacidade de expulsar contaminantes da área de vedação, o que garante a integridade da vedação. O processo de selagem ultrassônica oferece vantagens como a capacidade de selar produtos sensíveis ao calor e resistência à contaminação, tornando-a útil para aplicações como selagem de produtos alimentícios e embalagens em máquinas horizontais. No entanto, o custo elevado da tecnologia é uma desvantagem notável. A técnica é considerada uma alternativa promissora aos processos de selagem a frio, podendo reduzir os custos dos materiais de embalagem (Robertson, 2013; Yam, 2009).

2.2.3 Fatores que alteram a selagem

Alguns fatores influenciam diretamente na qualidade da selagem por calor, de forma que precisam ser acompanhados e controlados para evitar defeitos na vedação do produto.

O desempenho de selagem térmica é influenciado por dois parâmetros fundamentais: o tempo de permanência e a temperatura. Estes estão inter-relacionados: para tempos de permanência mais curtos, é necessário aumentar a temperatura para obter a mesma qualidade de selagem, enquanto temperaturas mais baixas requerem maior tempo de contato. O tempo de permanência é determinado pela velocidade da linha de produção e pela fração do ciclo de máquina dedicado à selagem, ou seja, quanto tempo do empacotamento é destinado ao contato entre o dispositivo de aquecimento (como mordentes, placas, barras, etc.) e ao substrato da embalagem. Filmes com baixa temperatura de início de fusão permitem aumentar a velocidade da linha sem comprometer a qualidade da selagem (Brody, 2017).

Nesse processo, a temperatura desempenha um papel essencial tanto durante a operação de selagem quanto no uso final do produto embalado. Durante a selagem, a temperatura controla o derretimento do filme, facilitando a adesão, difusão e o preenchimento de lacunas. Contudo, temperaturas excessivas podem causar distorções no filme, além de extrudar o selante devido à redução da viscosidade do polímero com o aumento da temperatura. Em filmes orientados, como o polipropileno orientado (OPP) e PET, o excesso de calor pode provocar encolhimento. Além disso,

variações na temperatura das barras de selagem podem comprometer a uniformidade da selagem, gerando áreas mais frágeis e suscetíveis a vazamentos (Morris, 2022).

As condições térmicas às quais a embalagem é exposta durante seu uso também influenciam a resistência da selagem. Processos com altas temperaturas podem estressar a vedação, especialmente se excederem o ponto de fusão do filme. Nessas situações, a resistência ao calor torna-se um fator crucial para o desempenho da embalagem. Em contraste, baixas temperaturas, como as encontradas em processos de congelamento rápido, podem tornar o filme mais quebradiço, aumentando o risco de falhas na selagem (Morris, 2022).

A pressão também é considerada fundamental para garantir que os filmes se unam adequadamente durante o processo de selagem. No entanto, pressão excessiva pode causar a expulsão do selante, especialmente em altas temperaturas, prejudicando a vedação. A orientação ideal é aplicar apenas a pressão necessária para assegurar um bom contato entre os filmes. Muitas vezes, na tentativa de solucionar problemas de selagem, a temperatura e a pressão são aumentadas, o que, ao invés de melhorar a vedação, pode piorá-la, comprometendo a integridade do selo (Morris, 2022).

O design do mordente ou da barra de selagem tem um papel importante na eficiência de selagem. Uma estratégia para melhorar a aderência da selagem é utilizar barras mais largas, o que aumenta a área de contato antes da falha da vedação e reduz a possibilidade de vazamentos. Embora barras mais largas ajudem a evitar a extrusão do material, elas exigem mais filme, o que pode elevar os custos. Para evitar que a barra de vedação adira ao filme devido ao calor, pode-se revestir a barra com politetrafluoretileno (PTFE) ou outro material resistente a altas temperaturas. Esta medida é especialmente útil se a camada externa do filme não for suficientemente resistente ao calor. Algumas operações de vedação utilizam apenas uma barra aquecida, enquanto outras aquecem ambas as barras, conforme a Figura 2. A escolha entre esses métodos depende do design da linha de embalagem (Yam, 2009).

Figura 2: Barra de selagem aquecida.



Fonte:Ohl, 2018.

2.2.4 Principais problemas na selagem por calor

Problemas comuns na selagem por calor incluem falhas de vedação e contaminação. Falhas podem resultar de condições inadequadas de temperatura ou pressão, ou a presença de contaminantes na superfície de selagem. Para mitigar esses problemas, recomenda-se a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real e a manutenção regular dos equipamentos. A contaminação pode ser controlada com práticas rigorosas de limpeza e a utilização de sistemas de ar purificado durante a selagem. Além disso, defeitos nos filmes de embalagem, como rasgos ou perfurações, frequentemente causados por manuseio inadequado ou baixa resistência do material, podem comprometer a eficácia da selagem e a integridade do produto (Morris, 2022).

2.3 OUTROS TIPOS DE SELAGEM

2.3.1 Selagem com Zíper

Embalagens com zíper são utilizadas para produtos que requerem acesso repetido, como petiscos e alimentos congelados. Este sistema permite abrir e fechar a embalagem várias vezes, mantendo a integridade do produto e prolongando sua vida útil (Robertson, 2013).

2.3.2 Selagem a frio por pressão

A selagem por pressão é um método amplamente utilizado na vedação de embalagens, caracterizado pela aplicação de pressão mecânica para unir as superfícies da embalagem e formar uma vedação hermética. Um dos tipos mais comuns dessa técnica é a selagem por pressão a frio, também conhecida como selagem a frio, que utiliza adesivos ativados por pressão sem a necessidade de calor, sendo ideal para embalar alimentos sensíveis ao calor, como chocolates, barras de cereais, confeitos e produtos farmacêuticos. Essa técnica oferece diversas vantagens, como rapidez no processo de selagem, maior eficiência energética e a proteção eficaz de produtos delicados que poderiam ser danificados pela exposição ao calor.

Embora a selagem a frio apresente desvantagens, como maior custo dos materiais, que exigem revestimento específico com adesivo, e menor resistência mecânica das vedações em comparação com os métodos de selagem por calor, ela é menos sensível ao tempo de selagem e às variações de velocidade da linha de produção, o que a torna altamente eficiente em determinadas aplicações (Robertson, 2013).

2.4 CICLO PDCA

As ferramentas de qualidade surgiram no contexto da Revolução Industrial, mas ganharam destaque e desenvolvimento significativos a partir do século XX, especialmente após a Segunda Guerra Mundial. Durante esse período, impulsionadas por nomes como Walter Shewhart, W. Edwards Deming, Joseph Juran e outros, as metodologias e técnicas para controle de qualidade e melhoria de processos foram amplamente desenvolvidas e difundidas. Isso incluiu a criação de ferramentas como gráficos de controle, diagramas de Ishikawa (espinha de peixe), histogramas, folhas de verificação, entre outras, que se tornaram fundamentais para a gestão da qualidade e a busca pela excelência operacional em diversos setores industriais (Rose, 2022).

Na década de 1930, durante o período de surgimento das ferramentas de qualidade e processos, impulsionado pelos pioneiros do controle de qualidade e de processos, como Walter Shewhart, surgiu o método PDCA. Shewhart, uma figura central nesse contexto, publicou em 1931 o livro "*Economic Control of Quality of Manufactured Product*", no qual descreveu diferentes tipos de variação de qualidade. Além disso, desenvolveu técnicas para coletar e analisar dados que de forma a

distinguir variações inerentes ao sistema e aquelas atribuíveis a causas específicas, possibilitando melhorias ao eliminar estas últimas. Posteriormente, ele elaborou e detalhou o ciclo PDCA, que se tornou uma abordagem fundamental para a melhoria contínua de processos em diversos setores industriais (Rose, 2022).

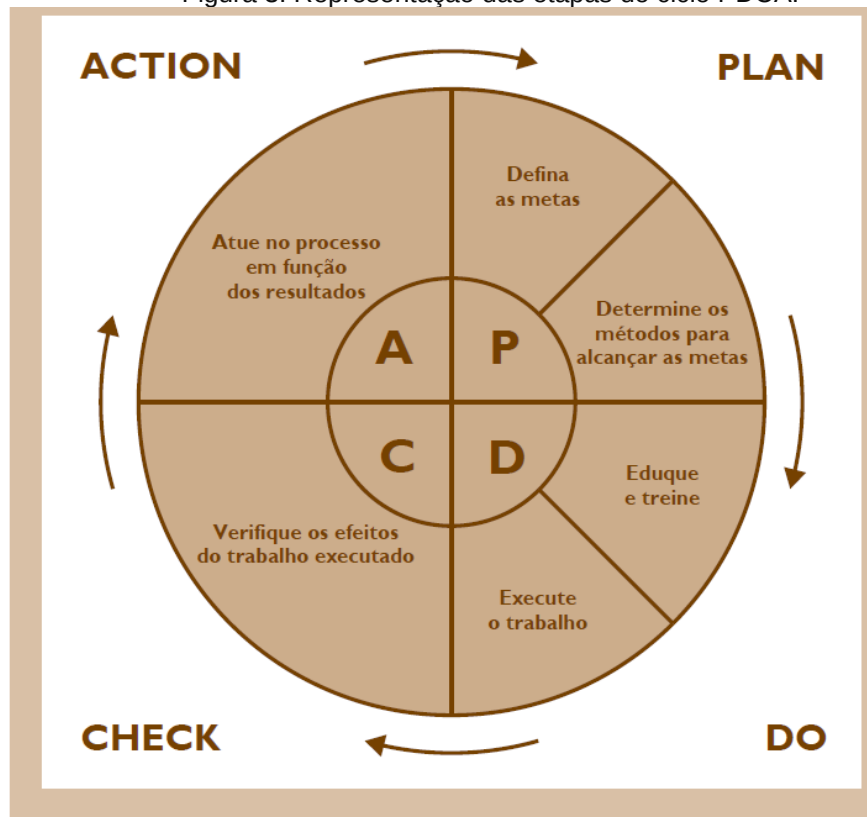
Em 1950, W. Edwards Deming ajudou a difundir, adaptar e promover o ciclo PDCA, usando-o como uma ferramenta central em seus trabalhos de consultoria em gestão da qualidade, especialmente no Japão após a Segunda Guerra Mundial. A adoção do PDCA no Japão foi um dos fatores que impulsionou o país a se tornar um líder global em qualidade e eficiência industrial, destacando-se no desenvolvimento de produtos inovadores e na otimização de processos produtivos (Werkema, 2013).

O ciclo PDCA é um método de gestão, controle de processos e melhoria contínua com foco na identificação e resolução de problemas. Conta com quatro etapas, sendo elas, *Plan*, *Do*, *Check*, *Act*, ou em português, planejar, fazer, checar e agir. Tendo algumas vantagens significativas, como estimular a melhoria contínua de pessoas e processos e permitir o teste de possíveis soluções em pequena escala e em um ambiente controlado. Também conhecido como ciclo de Deming, ciclo de Shewhart, círculo/ciclo de controle e *Plan*, *Do*, *Study*, *Act* (PDSA), o PDCA ajuda as organizações a abordar problemas e aprimorar processos de maneira metódica (Gulati, 2021).

O PDSA é uma variação do ciclo PDCA, que enfatiza a importância do estudo dos resultados antes de agir. Enquanto o PDCA usa a etapa "*Check*" para verificar se as ações estão de acordo com o plano, o PDSA utiliza "*Study*" para uma análise mais aprofundada dos dados coletados, permitindo uma compreensão mais robusta das causas dos problemas e dos efeitos das mudanças implementadas. Essa abordagem é particularmente eficaz em ambientes onde a experimentação e a aprendizagem contínua são fundamentais. Ao focar no estudo detalhado dos resultados, o PDSA promove uma cultura de investigação e aprendizado dentro das organizações, garantindo que as melhorias sejam sustentáveis e bem fundamentadas antes de serem amplamente implementadas (Gulati, 2021).

O ciclo PDCA, representado na Figura 3, é composto pelas etapas: Planejar, Fazer, Verificar e Agir, sendo cada uma delas vitais para a boa aplicação do método.

Figura 3: Representação das etapas do ciclo PDCA.



Fonte: Werkema (2013).

Na etapa "planejar", realiza-se a identificação do problema, a definição dos objetivos e das metas de forma mensurável. Esta fase inicial é crucial, pois estabelece a base sobre a qual todas as outras etapas serão construídas. Além disso, é nela que se desenvolve o plano de execução, incluindo a escolha das ferramentas e estratégias que serão utilizadas. Há diversas ferramentas disponíveis para auxiliar nesse processo, como o Diagrama de Ishikawa, que facilita a identificação das causas raízes dos problemas, o Gráfico de Pareto, que ajuda a priorizar as causas mais significativas, o método dos 5 porquês, que promove uma investigação profunda, o *brainstorming*, que incentiva a geração de ideias, e o 5W2H, que auxilia na estruturação detalhada das ações necessárias. A utilização dessas ferramentas é essencial para aprimorar a precisão e a importância na tomada de decisões (Gulati, 2021).

Na etapa "fazer", o plano estruturado anteriormente é implementado, seguindo rigorosamente os procedimentos e diretrizes estabelecidos. Para tal, é necessário que ocorra o treinamento adequado dos colaboradores envolvidos, garantindo que todos estejam capacitados para executar as tarefas conforme o planejado. Durante essa fase, é importante que os dados sejam coletados de maneira sistemática e que a

execução seja acompanhada de perto para identificar possíveis desvios. Idealmente, essa implementação deve ser realizada em pequena escala inicialmente, permitindo a identificação e correção de problemas antes da expansão para um escopo maior. O monitoramento contínuo durante essa fase é fundamental para assegurar a conformidade com o plano e a obtenção dos resultados esperados (Werkema, 2013).

Na etapa "checar", realiza-se a verificação e análise dos resultados obtidos durante a implementação do plano. Nesse ponto, avaliam-se os dados coletados e compara-os às metas estabelecidas na fase "planejar". Essa análise crítica permite identificar se os objetivos foram alcançados e se as melhorias implementadas estão produzindo os efeitos desejados. Ferramentas estatísticas e gráficas podem ser utilizadas para facilitar essa avaliação. Além disso, é importante documentar os resultados, observações e qualquer desvio encontrado para consultas futuras. A comparação dos resultados com as expectativas iniciais é essencial para determinar a eficácia do plano de ação e identificar áreas que necessitam de ajustes (Werkema, 2013).

Já na etapa "agir", há duas possibilidades distintas. Caso os resultados estejam sendo satisfatórios e dentro do esperado, deve-se institucionalizar as mudanças, criando ou alterando padrões e procedimentos visando perpetuar os resultados obtidos. Isso inclui a formalização das novas práticas como parte dos processos operacionais padrão e a formação contínua dos colaboradores para garantir a sustentabilidade das melhorias. Caso as ações não tenham funcionado e os resultados não tenham atingido as metas estabelecidas, deve-se revisar e ajustar o plano original, identificando novas causas raízes e implementando soluções alternativas. Isso pode envolver o retorno à fase de planejamento para reformular as estratégias e ferramentas utilizadas, garantindo que o ciclo PDCA seja executado novamente até que as metas sejam alcançadas (Gulati, 2021).

O ciclo PDCA é comumente empregado ao iniciar novos projetos de melhoria, desenvolver aprimoramentos para processos, produtos ou serviços, estabelecer processos de trabalho repetitivos, planejar a coleta e análise de dados para identificar problemas ou causas raiz, implementar mudanças e promover a melhoria contínua. Além disso, a aplicação do ciclo PDCA é vital em setores onde a qualidade e a eficiência são cruciais, como a manufatura, a saúde, a tecnologia da informação e o setor de serviços. A capacidade de iterar continuamente e ajustar processos garante

que as organizações se mantenham competitivas e capazes de responder rapidamente às demandas do mercado (Gulati, 2021).

2.5 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE E PLANEJAMENTO DO CICLO PDCA

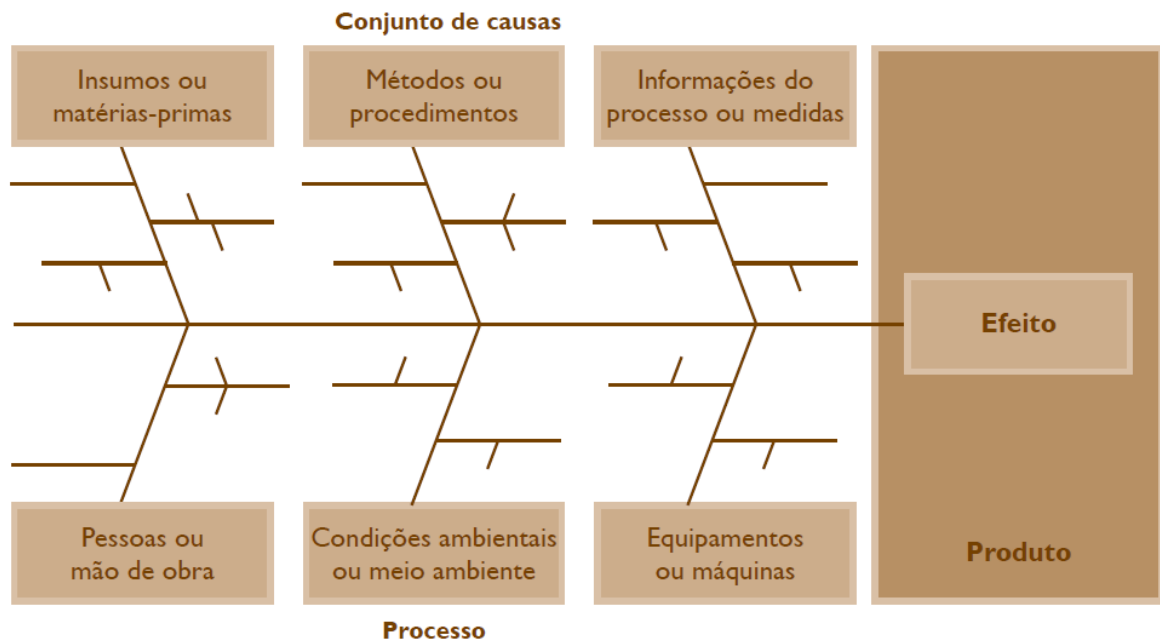
2.5.1 Brainstorming

O *brainstorming* é uma técnica amplamente utilizada para a geração de ideias em grupo. Durante uma sessão de *brainstorming*, os participantes são encorajados a expressar livremente suas ideias, sem críticas ou julgamentos. Esta abordagem promove a criatividade e a diversidade de pensamento, permitindo que soluções inovadoras surjam naturalmente. Uma das principais vantagens do *brainstorming* é a sua capacidade de estimular o pensamento coletivo e a colaboração entre os membros da equipe. O *brainstorming* é especialmente eficaz em situações onde múltiplas perspectivas são necessárias para resolver problemas complexos ou gerar novas ideias para projetos (Brown, 2010).

2.5.2 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Espinha de Peixe, é uma ferramenta visual utilizada para identificar as causas raízes de um problema específico. Este diagrama organiza as causas em categorias principais, como pessoas, processos, materiais e ambiente, ajudando a entender as inter-relações entre elas (Figura 4). Uma das vantagens do Diagrama de Causa e Efeito é a sua capacidade de proporcionar uma visão sistêmica do problema, facilitando a identificação de soluções eficazes. No entanto, sua eficácia depende da precisão na identificação das causas e da habilidade em interpretar os resultados. O Diagrama de Causa e Efeito é especialmente útil em situações em que é necessário investigar as causas subjacentes de problemas recorrentes ou complexos em projetos e processos (Juran, 1992).

Figura 4: Representação do diagrama de causa e efeito.



Fonte: Werkema (2013)

2.5.3 Metodologia 5W2H

O 5W2H é uma metodologia de planejamento que visa garantir a clareza e a eficácia na execução de ações definidas. Este método envolve responder às perguntas: O que será feito? Por quê? Quem será responsável? Quando? Onde? Como? Quanto custará? Ao fornecer respostas detalhadas a estas questões, as equipes podem garantir que as ações planejadas sejam compreendidas e executadas de forma eficiente. Uma das vantagens do 5W2H é a sua simplicidade e praticidade, tornando-o fácil de ser implementado em diferentes contextos. No entanto, sua eficácia depende da precisão das informações fornecidas e da comunicação clara entre os membros da equipe. O método 5W2H é especialmente eficaz em situações onde é necessário planejar e executar ações específicas dentro de um projeto ou iniciativa, garantindo que todos os aspectos relevantes sejam considerados (Wysocki, 2011).

2.5.4 PPM de defeitos

O termo Partes por milhão (PPM) é uma métrica amplamente utilizada na indústria para avaliar a qualidade de processos e produtos, representando o número de defeitos ou falhas por milhão de unidades produzidas. A fórmula do PPM de defeitos permite quantificar a performance de um processo em termos de qualidade,

facilitando a comparação com metas estabelecidas, padrões de mercado ou regulatórios. Por exemplo, um valor de PPM de defeitos de 500 PPM, significa que para cada milhão de unidades produzidas, 500 delas apresentam algum tipo de falha ou não conformidade. A métrica de PPM é útil para a avaliação contínua de processos de manufatura, especialmente em indústrias que exigem padrões elevados de qualidade, como a alimentícia e a farmacêutica. O objetivo das empresas é reduzir o número de PPM para níveis mínimos, o que reflete uma maior eficiência e conformidade com as especificações de qualidade (McShane-Vaughn, 2022). A fórmula para calcular o PPM de defeitos seguir é dada por:

$$\text{PPM} = (\text{Número de defeitos detectados} / \text{Total de unidades produzidas}) \times 1000000.$$

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho, a metodologia empregada como abordagem de pesquisa foi o estudo de caso. A escolha por essa metodologia se justifica pela sua capacidade em fornecer uma compreensão aprofundada e contextualizada de fenômenos complexos. A flexibilidade do estudo de caso permite ajustes durante o processo de pesquisa, enquanto sua eficácia na aplicação prática de resultados contribui para o desenvolvimento teórico e prático. Na indústria de alimentos, o estudo de caso pode oferecer conhecimentos valiosos e práticos para otimização de processos e aprimoramento da qualidade dos produtos (Lunetta, 2023).

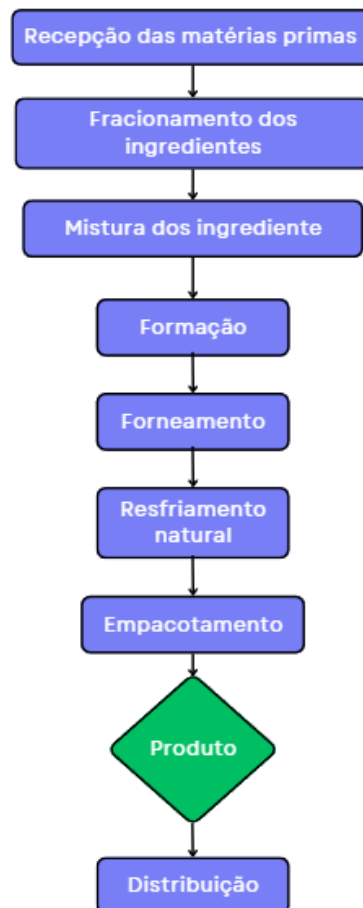
A metodologia PDCA foi aplicada a um problema de selagem de embalagens alimentícias flexíveis com selagem por calor, com o objetivo de aumentar a eficiência e a qualidade do processo.

3.2 MAPEAMENTO DO PROBLEMA E DEFINIÇÃO DA EQUIPE

Para entender o principal ofensor de qualidade da indústria foi feito o levantamento das maiores causas de reclamação de consumidores no intervalo de 6 meses, entre setembro de 2023 e fevereiro de 2024. A maior voz de reclamações foi sobre a textura do produto. Para entender a fonte dessa reclamação foi feita uma análise dos pontos mais críticos do processo para a textura.

O processo de produção de uma indústria de alimentos pode ser visualizado no fluxograma presente na figura 5.

Figura 5: Fluxograma do processo produtivo



Fonte: Autora, 2024.

O primeiro ponto analisado foi o forneamento, nesse processo a umidade é retirada do produto por meio da aplicação de calor. Há uma análise feita pela operação após o forneamento que indica a umidade do produto naquele momento, e caso não esteja de acordo com as especificações pré estabelecidas pode gerar problemas de textura. Entretanto, ao ser verificado o histórico de análises de umidade após o forneamento não foi encontrado nenhum dado com umidade acima da especificação. Indicando que o problema de textura estava após essa etapa.

O segundo ponto crítico avaliado foi o resfriamento, logo após o produto sair do forneamento, ele passa por esteiras aéreas que promovem a perda do calor para o ambiente, de forma que o produto siga para a embalagem com a temperatura ambiente. Entretanto, se esse tempo for muito prolongado o produto pode absorver a umidade do ambiente e perder textura. Para verificar essa possível causa, foi feita análise sensorial do produto na saída do resfriamento, de forma a avaliar se ele já

havia perdido a textura desejada. A degustação foi feita em dias diferentes e em horários distintos para se ter maior confiabilidade, entretanto, não foi observado desvio das características padrões de produto.

O último ponto crítico para a textura é a sua selagem, um produto mal selado permite a entrada de umidade na embalagem e com o passar do tempo leva a perda de textura. Assim, foi verificado que havia oportunidades de melhoria da selagem, visto que algumas embalagens não estavam bem vedadas e apresentavam defeitos. Para reduzir as falhas no processo de selagem de embalagens, o setor de embalagens em uma indústria de alimentos foi tomado como espaço de avaliação.

Diante da problemática de falhas nas embalagens seladas por calor foi aplicada a metodologia PDCA com o objetivo de aumentar a eficiência e a qualidade do processo.

Houve a criação do cronograma geral do projeto, buscando planejar, organizar e determinar prazos e atividades para melhor visualização e entendimento de cada etapa, o cronograma estabelecido pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1: Cronograma do Projeto

Coleta de dados pré projeto	Definição da equipe e do escopo do projeto	Implementação do PDCA	Coleta de dados pós projeto	Fechamento de resultados
Setembro de 2023 a fevereiro de 2024	4 a 7 de março de 2023	11 de março a 20 de abril de 2024	Abril a junho de 2024	Julho de 2024

Fonte: Autora, 2024.

O período entre setembro de 2023 e fevereiro de 2024 foi selecionado para a coleta dos dados como base de referência antes da implementação, com o objetivo de estabelecer um parâmetro comparativo e identificar mudanças ou melhorias após a execução do projeto.

O passo seguinte foi escolher a equipe que fez parte do projeto. Definiu-se a necessidade de um representante em cada área relevante para o problema, de forma a se ter uma equipe multidisciplinar, sendo elas manufatura, manutenção, qualidade, processos e pesquisa e desenvolvimento. Nesse estágio, foi definido que a base de dados utilizada para comparação pré-implementação e pós-implementação da metodologia PDCA seria a quantidade absoluta de reclamações de consumidores,

com o objetivo de estabelecer um parâmetro comparativo e identificar mudanças ou melhorias após a execução do projeto. O período pré-implementação foi estabelecido entre setembro de 2023 e fevereiro de 2024, e o pós-implementação entre abril e junho de 2024. Por fim, foi definida uma meta de redução de 40% na média mensal de reclamações em relação aos valores pré-implementação.

3.3 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA

3.3.1 Etapa 1: Planejar (*Plan*)

Na fase de planejamento, o problema central foi identificado e discutido. O objetivo dessa etapa era analisar as causas raízes do problema e desenvolver um plano de ação para solucioná-las.

3.3.1.1 Brainstorming

A técnica de *brainstorming* foi utilizada para coletar ideias e sugestões dos colaboradores envolvidos no processo. A equipe multidisciplinar foi reunida e sessões de brainstorming foram promovidas, focadas no preenchimento e identificação das categorias do Diagrama de Ishikawa. As ideias geradas foram classificadas e priorizadas para a elaboração de um plano de ação.

3.3.1.2 Diagrama de Causa e Efeito

Para entender melhor as causas do problema, o Diagrama de Causa e Efeito, ou Diagrama de Ishikawa, foi utilizado. Esse diagrama auxiliou na categorização e visualização das possíveis causas de falhas da qualidade, focando em alguns aspectos específicos:

- Máquinas: Defeitos nos equipamentos, falta de manutenção, ajustes inadequados.
- Materiais: Qualidade das matérias primas, variação entre os parâmetros e especificações.
- Métodos: Procedimentos operacionais inadequados, falta de padronização nos processos.
- Meio Ambiente: Variações de temperatura e umidade no ambiente de produção.

- Mão de Obra: Falta de treinamento adequado, erros humanos durante a operação.

3.3.1.3 Ferramenta 5W2H

Para organizar e detalhar o plano de ação, a ferramenta 5W2H foi aplicada, respondendo às seguintes perguntas:

- *What* (O que?): Definir o problema de forma detalhada.
- *Why* (Por quê?): Qual o impacto gerado e porque há a necessidade de solução.
- *Where* (Onde?): Definir o local, equipamento e produto onde está ocorrendo o problema.
- *When* (Quando?): Quando serão realizadas e entregues as ações.
- *Who* (Quem?): Definir quem da equipe irá realizar cada atividade/
- *How* (Como?): Qual o método de resolução, que estratégia ou técnica será implementada.
- *How Much* (Quanto?): Entender os custos e investimentos necessários.

3.3.2 Etapa 2: Fazer (*Do*)

Nesta etapa, o plano de ação desenvolvido foi implementado. As atividades planejadas foram executadas conforme um cronograma pré estabelecido. Durante a execução do plano de ação, dados relevantes foram coletados para avaliar o progresso em relação às metas estabelecidas. Incluindo dados de índice de defeitos, custos operacionais e *feedback* da equipe.

Os dados de índice de defeitos foram coletados com base no teste de vácuo para embalagens, esse método é amplamente utilizado na indústria de alimentos e consiste na inserção das embalagens seladas em uma câmara de vácuo, onde é aplicada uma pressão negativa controlada para verificar a presença de vazamentos, microfuros ou falhas na vedação. Esse teste é feito a cada 30 minutos na linha de produção e os dados são registrados para acompanhamento.

3.3.3 Etapa 3: Checar (*Check*)

A fase de verificação envolveu o monitoramento e a análise dos resultados obtidos após a implementação das ações. Foram realizadas:

- **Análise de dados:** Análise de dados durante o período de interesse, índices de defeitos antes e depois das intervenções.
- **Feedback dos operadores:** Avaliação dos *feedbacks* dos operadores de máquinas sobre os novos procedimentos e possíveis pontos de melhoria.
- **Análise de performance:** Avaliou-se se houve impactos no processo produtivo e na performance dos equipamentos, como geração de paradas ou quebras durante a aplicação do projeto.
- **Análise estatística dos dados:** Avaliação dos resultados encontrados no viés estatístico para validação da real significância das melhorias. Nesse momento, o teste t para amostras independentes foi utilizado para comparar o número de PPM de defeitos antes e depois da implementação. O número de PPM se refere a quantidade de embalagens com defeito detectado em uma escala de um milhão de pacotes.

3.3.4 Etapa 4: Agir (Act)

Com base nos resultados da verificação, ajustou-se e padronizou-se as melhores práticas. Quando necessário, revisou-se e aprimorou-se as ações implementadas para assegurar a melhoria contínua. As ações incluíram: revisão de treinamentos, ajustes nos equipamentos, atualização de procedimentos e ciclo contínuo de melhoria aplicando o ciclo PDCA repetidamente até atingimento das metas de redução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA

4.1.1 Fase de Planejamento (*Plan*)

4.1.1.1 Identificação do problema

O primeiro passo realizado foi a identificação do problema que seria tratado com o método PDCA. Para essa escolha foram elencados os principais ofensores de qualidade em uma linha de produção de uma indústria de alimentos. A base de dados utilizada para essa escolha foi a quantidade de reclamações de consumidores no período de setembro de 2023 a fevereiro de 2024, totalizando 6 meses de coleta de dados. Os resultados compilados estão apresentados na Figura 6.

Figura 6: Número de reclamações totais.



Fonte: Autora, 2024.

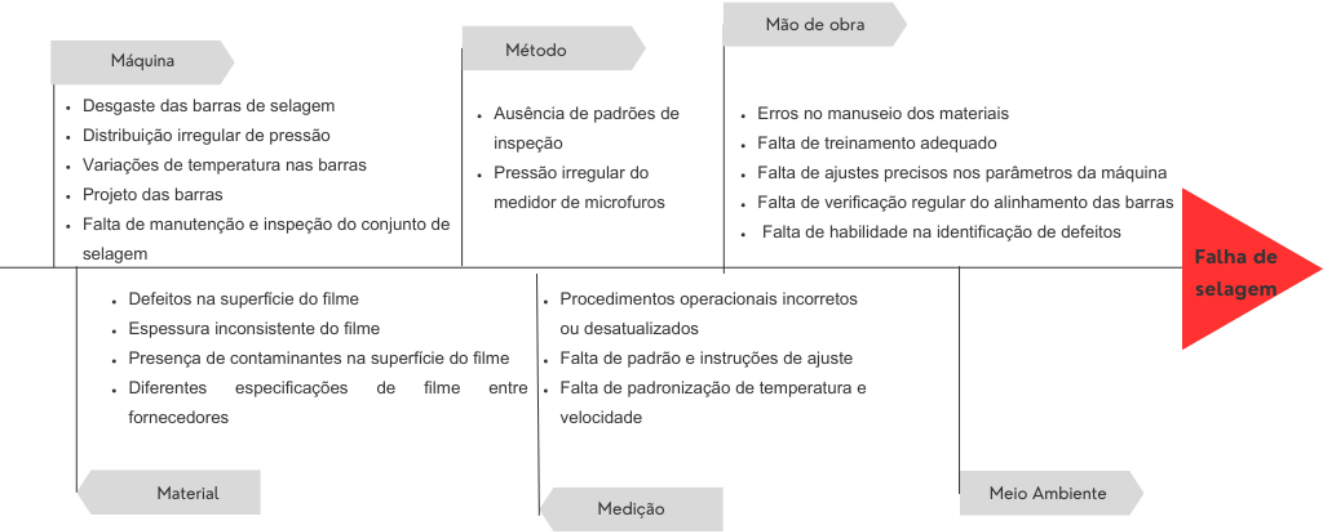
Assim, a principal ocorrência de qualidade observada foi de textura. Problemas de textura em alimentos usualmente são relacionados a má qualidade da selagem das embalagens primárias. Portanto, antes de se definir os próximos passos foi escolhida a equipe que iria participar do processo de melhoria. Foram elencados membros de diversas áreas de forma a se ter maior interdisciplinaridade, sendo eles, especialista de manutenção, operador da máquina de embalagem, especialista de processo, analista de qualidade e desenvolvedor de embalagens. Com a equipe formada, seguiu-se para a próxima etapa.

4.1.1.2 Análise do problema

Utilizando as ferramentas diagrama de causa e efeito e *brainstorming*, foram identificadas as possíveis causas do problema de selagem. Sessões de *brainstorming* foram realizadas com a equipe para explorar todas as possíveis causas dos problemas de selagem e gerar soluções criativas. Em seguida essas causas foram elencadas em um diagrama causa e efeito, ajudando na melhor visualização e categorização dos

pontos encontrados. O diagrama causa e efeito construído encontra-se estratificado nas categorias conhecidas como 6Ms, conforme a Figura 7 abaixo.

Figura 7: Diagrama causa e efeito para problemas de selagem.



Fonte: Autora, 2024.

4.1.1.3 Desenvolvimento do Plano de Ação

A partir das informações coletadas e das soluções propostas durante o *brainstorming*, foi elaborado um plano de ação detalhado. Para tal foi utilizada a ferramenta 5W2H. Essa ferramenta permitiu estruturar o planejamento, respondendo a perguntas como *What* (O que será feito), *Why* (Por que será feito), *Who* (Quem fará), *When* (Quando será feito), *Where* (Onde será feito), *How* (Como será feito) e *How much* (Quanto custará). Ao aplicá-la, a equipe pode definir claramente os objetivos de melhoria na selagem e embalagem, bem como as ações necessárias para alcançá-los. Na Tabela 2 abaixo há a aplicação do 5W2H para cada ponto do diagrama causa e efeito.

Tabela 2: Plano de ação 5W2H.

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Desgaste das barras de selagem	Substituir as barras desgastadas e implementar plano de inspeção semanal.	Para garantir a eficiência da selagem.	Máquinas de selagem.	Até 30/03.	Equipe de manutenção.	Substituir as barras desgastadas e criar um plano de inspeção.	Custo de novas barras, R\$3000/barra.
Distribuição irregular de pressão	Ajustar os mecanismos de pressão das máquinas.	Para garantir a uniformidade da selagem.	Máquinas de selagem.	Até 15/03.	Equipe de manutenção e operadores.	Realizar ajustes mecânicos e calibrações com uso de ferramentas adequadas.	NA

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Variações de temperatura nas barras	Monitorar e calibrar o sistema de controle de temperatura.	Temperaturas inconsistentes afetam a qualidade da selagem e prejudicam na decisão de ajustes.	Máquinas de selagem.	Até 23/03.	Equipe de manutenção.	Realizar calibração e verificação do sistema de medição de temperatura e implementar plano mensal.	Custo de aquisição e manutenção dos sensores.
Projeto inadequado das barras	Avaliar e revisar o projeto das barras de selagem para aumentar a eficiência.	Para garantir que o projeto está adequado com o filme, velocidade e condição do equipamento.	Máquinas de selagem.	Até 20/04.	Especialista de manutenção e desenvolvedor.	Pesquisar e testar diferentes projetos, realizando simulações de selagem.	Custos de pesquisa e desenvolvimento.

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Falta de manutenção e inspeção do conjunto de selagem	Implementar um programa de manutenção regular e inspeções detalhadas do conjunto de selagem.	Para não comprometer a vida útil e a eficiência do equipamento.	Máquinas de selagem.	Até 12/04.	Equipe de manutenção e operadores.	Criar um checklist e procedimento passo-a-passo de manutenção e inspeção.	NA
Defeitos na superfície do filme	Implementar controle de qualidade para verificar o filme a cada novo lote.	Defeitos na superfície do filme afetam a selagem.	Laboratório de controle.	Até 12/04.	Equipe de qualidade.	Realizar testes visuais, de gramatura e espessura dos materiais e criar procedimento de análise.	NA
Espessura inconsistente do filme	Estabelecer especificações adequadas para espessura e	Garantir uniformidade na selagem.	NA	Até 19/04.	Desenvolvedor de embalagens.	Verificar e implementar melhor especificação para o tipo de equipamento utilizado.	NA

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
	gramatura do filme fornecido.						
Incompatibilidade do filme com a temperatura da barra aquecida	Realizar testes de compatibilidade térmica entre o filme e as barras de selagem.	A incompatibilidade resulta em falhas na vedação.	Máquinas de selagem.	Até 19/04.	Especialista de processos desenvolvidor.	Implementar testes de resistência térmica e adesão e atualizar material do filme se preciso.	Custos de teste e análise.
Presença de contaminantes na superfície do filme	Implementar controles de limpeza no equipamento.	Para evitar contaminação nas embalagens.	Máquina de selagem.	Até 15/03.	Especialista de processos analista.	Estabelecer protocolos de limpeza e verificação de cada parte do equipamento.	NA
Diferenças nas especificações de filme entre fornecedores	Uniformizar as especificações de compra de filmes entre fornecedores.	Garantir consistência nos materiais utilizados na produção.	NA	Até 12/04.	Equipe de compras e analista de qualidade.	Definir especificações padrão e exigir conformidade de todos os fornecedores.	NA

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Falta de ajustes precisos nos parâmetros da máquina	Treinar operadores para ajustar corretamente os parâmetros de selagem.	Ajustes inadequados levam a falhas de selagem.	Sala de treinamento.	Até 30/03.	Especialista de processo e manutenção.	Realizar treinamentos teóricos e práticos com a equipe de operadores.	NA
Falta de verificação regular do alinhamento das barras	Incluir verificações regulares de alinhamento como parte da rotina operacional.	Alinhamentos incorretos causam selagem irregular.	Máquinas de selagem.	Até 30/03.	Operadores e equipe de manutenção.	Estabelecer um checklist diário para garantir o alinhamento correto.	NA
Procedimentos operacionais desatualizados	Revisar e atualizar os procedimentos operacionais de acordo com as melhores práticas atuais.	Para garantir que o processo de selagem seja eficaz e atualizado.	Máquinas de selagem.	até 05/04.	Especialista de processo e analista.	Revisão de documentos operacionais, ajustes nas instruções de trabalho e treinamentos.	NA

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Falta de padrão de ajuste	Desenvolver e implementar padrões de ajuste de parâmetros para as máquinas de selagem.	Para garantir a uniformidade nas operações e evitar variações nos resultados de selagem.	Máquinas de embalagem.	Até 19/04.	Especialista de manutenção e operadores.	Definir critérios claros de ajuste e parâmetros de operação, realizar treinamentos para operadores.	NA
Falta de padronização de temperatura e velocidade	Estabelecer padrões específicos para a temperatura das barras de selagem e a velocidade da embaladora.	Para garantir a consistência e qualidade da selagem.	Máquinas de embalagem.	Até 19/04.	Especialista de processo e operadores.	Testar e ajustar os parâmetros ideais e, em seguida, padronizá-los.	NA
Ausência de padrões de inspeção	Estabelecer padrões claros de inspeção para o processo de selagem.	Para garantir a detecção eficaz de defeitos, como microfuros, nas embalagens.	Equipamento de medição.	Até 19/04.	Analista de qualidade e especialista.	Definir procedimentos padronizados de inspeção visual e de operação dos equipamentos.	NA

Descrição do Problema	O que	Por que	Onde	Quando	Quem	Como	Quanto
Pressão irregular do medidor de microfuros	Verificar e calibrar regularmente os medidores de pressão usados na detecção de microfuros.	Para garantir a precisão dos resultados de inspeção e evitar falsos negativos.	No equipamento de medição.	Até 19/04.	Especialista de manutenção e analista.	Testar diferentes pressões até haver confiabilidade na detecção. Implementar um cronograma de calibração.	NA

Fonte: Autora, 2024.

4.1.1.4 Estabelecimento de Metas

Com base na análise do problema, metas específicas foram estabelecidas para orientar o processo de melhor. Havendo sido definida como meta, a redução de 40% na quantidade de reclamações de consumidores de textura em um período de 3 meses após a finalização das ações mapeadas no primeiro ciclo do PDCA, portanto, de abril a junho de 2024.

4.1.1.5 Cronograma do PDCA

Após todas as definições anteriores serem feitas foi criado o cronograma do projeto, que tem como finalidade proporcionar uma visão detalhada dos prazos para a realização de cada etapa, permitindo o monitoramento constante do avanço. Ele dá ênfase à organização e ao planejamento, assegurando a correta distribuição de recursos, a mitigação de riscos e a manutenção da qualidade na execução, com o intuito de alcançar as metas inicialmente definidas. Assim, foi considerado o prazo de 12 semanas (3 meses), para a implementação de todas as etapas elencadas, como pode ser acompanhado na Tabela 3.

- Semanas 1 a 2: Etapa de planejamento: Definição do projeto, equipe, metas e ações.
- Semanas 2 a 5: Implementação das ações nos equipamentos.
- Semanas 3 a 5: Desenvolvimento de manuais e treinamentos.
- Semanas 6: Realização de treinamentos com todos os operadores.
- Semanas 2 a 8: Atualização das especificações de embalagem e implementação das melhorias.
- Semanas 6 a 7: Introdução de padrões de inspeção, limpeza e calibração, além do início de um sistema regular de manutenção preventiva nas máquinas de selagem.
- Semanas 8 a 10: Coleta e análise dos dados
- Semanas 11 a 12: Aplicação do PDCA contínuo para monitorar a eficácia das melhorias implementadas, ajustando conforme necessário para manter a qualidade da selagem.

Tabela 3: Cronograma do PDCA

Mês	Abril				Maio					Junho		
Atividade/ Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Planejamento do projeto	X	X										
Implementação das ações			X	X	X	X	X					
Coleta e análise de dados								X	X	X		
PDCA contínuo											X	X

Fonte: Autora, 2024.

4.1.2 Fase de Execução (Do)

4.1.2.1 Implementação do plano de ação

Com o plano de ação em vigor, as atividades planejadas foram executadas conforme os prazos e o cronograma estabelecido, sendo finalizadas até a sétima semana.

4.1.2.2 Coleta de dados

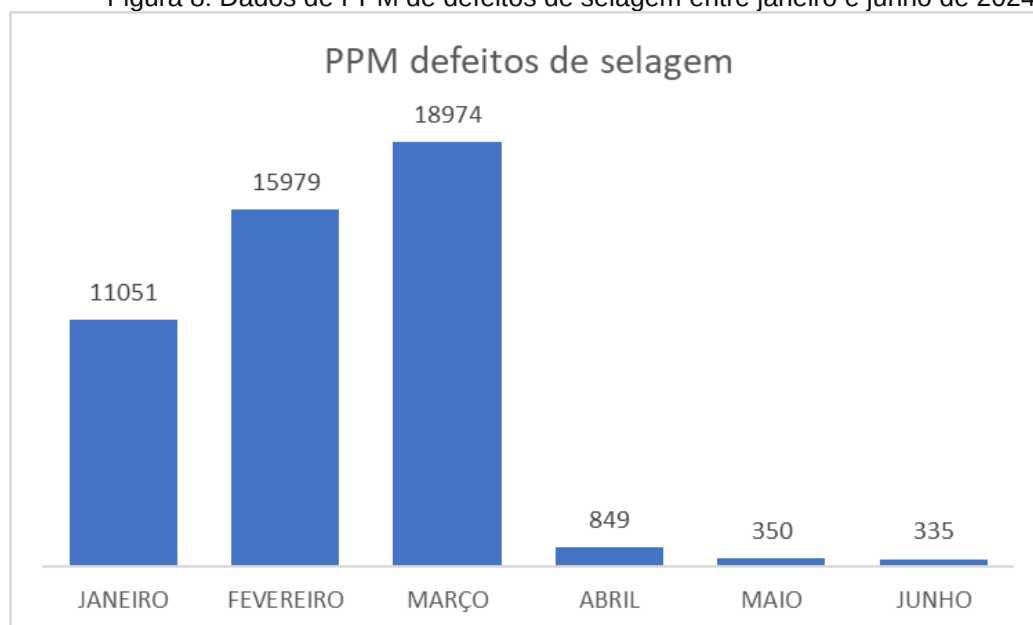
Durante a execução do plano de ação, dados relevantes foram coletados para avaliar o progresso em relação às metas estabelecidas. Foram coletados os dados de PPM de defeitos de selagem na linha de produção antes e depois da realização das ações, além disso mediu-se o impacto no tempo de processamento ou de implementação das ações e *feedback* da equipe operacional.

4.1.3 Fase de verificação (Check)

4.1.3.1 Análise dos resultados

Os dados de PPM de defeitos encontrados podem ser observados na Figura 8, na qual se percebe a redução na incidência de defeitos de selagem entre os meses antes da implementação das ações e os meses pós implementação de todas as ações.

Figura 8: Dados de PPM de defeitos de selagem entre janeiro e junho de 2024.



Fonte: Autora, 2024.

Em seguida, foram analisados os comentários dos operadores e da equipe de controle de qualidade, observou-se oportunidades quanto a variações de espessura do filme entre diferentes lotes e de temperatura das barras. Tais observações ajudaram a direcionar ajustes nos procedimentos de inspeção do material de embalagem e na manutenção dos equipamentos, resultando em melhorias no desempenho geral do processo.

4.1.3.2 Análise estatística dos dados de PPM coletados

Houve a aplicação do teste t para os valores de PPM de defeitos de selagem dos meses pré e pós implementação. Observou-se uma diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos analisados. O primeiro grupo (janeiro a março) apresentou média de PPM de 15335, ou seja, a cada um milhão de pacotes produzidos em média 15335 pacotes estavam com defeitos de selagem, enquanto o segundo grupo (abril a junho) teve média de PPM de 495. O desvio padrão foi de 4000,61 para o primeiro grupo e 252,01 para o segundo grupo. A estatística t obtida foi de 6,41, com um valor p de 0,023. Considerando o nível de significância adotado de 5% ($\alpha=0,05$), o valor p indica que a hipótese nula, que presume a igualdade das médias dos grupos, pode ser rejeitada. Portanto, existe uma diferença significativa entre os resultados de PPM dos dois grupos, validando eficácia das ações adotadas.

4.1.4 Fase de agir (Act)

4.1.4.1 Padronização e continuidade

Com base na análise dos resultados, a equipe do projeto pôde se reunir novamente e identificar as melhores práticas geradas incorporando-as aos processos padrão, garantindo que as melhorias sejam sustentadas ao longo do tempo.

Como principais ações e boas práticas implementadas tem-se:

- **Treinamento e capacitação:** Os operadores foram treinados nas novas práticas e na importância do controle preciso dos parâmetros de selagem, as sessões envolveram teoria e prática, auxiliando na fixação do conhecimento. Também foi desenvolvido um programa de treinamento contínuo para manter a operação sempre atualizada.
- **Manutenção preventiva:** Foi atualizado o plano de manutenção preventiva das máquinas de embalagem, sendo contemplada a frequência, procedimento e abrangência. Além disso, foram mapeados planos de troca e inspeção de peças e das calibrações de temperatura e pressão.
- **Qualidade dos Materiais:** A revisão dos materiais de embalagem garantiu que atendam aos padrões necessários para uma selagem eficaz. A formalização das especificações dos filmes e estabelecimento da verificação por lote, permite a conservação dos padrões de qualidade mais elevados para o processo. Ainda houve maior interação entre o time de desenvolvimento de embalagem e o time operacional, permitindo troca de experiências e *feedbacks* sobre os filmes utilizados.
- **Padronização:** A estruturação de procedimentos operacionais, padrões visuais e instruções de trabalho referentes a todo o processo de ajustes e de controles da selagem, foi de grande importância para a consolidação das práticas implementadas e garantindo continuidade dos resultados positivos.

4.1.4.2 Revisão do ciclo

Sendo o ciclo PDCA um processo contínuo, a experiência obtida nesta fase proporcionou revisar o ciclo e identificar novas oportunidades de aprimoramento, assegurando a eficácia dos processos de selagem. Com base nessas análises, um novo ciclo PDCA foi planejado, com o objetivo de promover melhorias contínuas e manter a eficiência operacional.

4.2 ATINGIMENTO DA META

Após a implementação do ciclo PDCA favorecer melhoras significativas na linha de produção com a redução de defeitos de selagem, foi feita a comparação entre os dados de reclamação de consumidores considerados na definição da meta e os valores após a aplicação do primeiro ciclo do PDCA. Assim, após 3 meses da implementação das ações oriundas do PDCA foi feita a avaliação quanto à consecução das metas estabelecidas na etapa de planejamento. Os dados por mês podem ser avaliados na Tabela 4.

Entre setembro de 2023 e março de 2024, a média da quantidade de reclamações de textura por mês foi de aproximadamente 22. Já no período entre abril e junho de 2024, essa média caiu para 5. Isso representa uma redução significativa de 79% no número absoluto de reclamações por este modo de defeito. Embora os dados tenham sido coletados até 1 de setembro de 2024, já é possível notar uma redução no número de reclamações de textura após a implementação do PDCA. Os valores devem ser acompanhados para confirmação da redução e atingimento da meta.

Tabela 4: Número de reclamações por textura.

set/23	out/23	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	mai/24	jun/24
32	23	19	18	26	13	22	8	3	3

Fonte: Autora, 2024.

4.3 EFICÁCIA DA METODOLOGIA AVALIADA

A eficácia do método PDCA no processo de selagem por calor com barras aquecidas mostrou-se significativa ao promover a redução de falhas e otimizar o desempenho ao longo das etapas de implementação. A divisão do processo em fases, planejamento, execução, verificação e ação, possibilitou uma análise detalhada das causas dos defeitos permitindo a aplicação de soluções direcionadas.

A execução do ciclo PDCA proporcionou uma revisão contínua de parâmetros críticos, como temperatura, pressão e a manutenção preventiva dos equipamentos de selagem. Essas revisões resultaram em uma redução progressiva de defeitos, indicando uma maior estabilidade e confiabilidade no processo. O envolvimento da

equipe multidisciplinar na identificação e solução de problemas, facilitou a aplicação de ajustes finos em tempo real, corrigindo rapidamente as variações que podem comprometer a qualidade.

A eficácia do método também foi observada pela redução do PPM de defeitos detectados nas embalagens, assim como pela diminuição nas reclamações de consumidores. Esses indicadores demonstram não apenas uma melhoria na qualidade do processo de selagem, mas também um impacto positivo na eficiência operacional, com a redução de retrabalhos e desperdícios, refletindo em uma maior satisfação dos clientes e na diminuição de custos associados a não conformidades.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos na implementação do ciclo PDCA no processo de selagem por calor foi evidenciada a eficácia dessa abordagem na melhoria contínua da qualidade das embalagens. A aplicação do ciclo possibilitou a identificação e correção de falhas de selagem, resultando em uma significativa redução nos índices de defeitos e de 79% nas reclamações dos consumidores, alcançando e ultrapassando a meta inicialmente estabelecida de 40% de redução.

A utilização de ferramentas complementares, como o diagrama de causa e efeito, o método 5W2H e o *brainstorming*, foi crucial para a identificação das causas raízes dos problemas, permitindo a elaboração de planos de ação direcionados e eficazes. Além disso, a padronização dos parâmetros operacionais, como temperatura e pressão, juntamente com a implementação de um cronograma de manutenção preventiva, contribuiu para a estabilização e para a minimização da variabilidade do processo.

Os resultados demonstram que a continuidade do ciclo PDCA favorece não apenas a eficácia desses processos, mas também a cultura de melhoria contínua dentro da organização. Assim, a aplicação de metodologias de controle de qualidade e aprimoramento operacional se revelam fundamentais para a competitividade e satisfação dos clientes na indústria alimentícia, mostram-se essenciais para garantir a excelência e a confiabilidade dos produtos finais.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Fábio Felipe de. **O método de melhorias PDCA**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ABIA - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. **Relatório Anual da Indústria de Alimentos 2023**. ABIA, 2023. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2023417RelatorioAnual2023interativoFINAL.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2024.

ABIEF. **Consumo per capita de embalagens plásticas flexíveis cresce no Brasil em 2023**. ABIEF. Disponível em: <<https://www.abief.org.br/flex-tendencias/consumo-per-capita-de-embalagens-plasticas-flexiveis-cresce-no-brasil-em-2023>>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

BRODY, A. L. **Revival: Flexible Packaging of Foods**. 1. ed. CRC Press, 2017.

BROWN, T. **Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation**. Harper Business, 2010.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. São Paulo: Marques Saraiva, 1990.

GULATI, R. **Maintenance and Reliability Best Practices**. 3. ed. Industrial Press, 2021.

HAN, J. H. **Packaging for Nonthermal Processing of Food**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2008.

HAN, J. H. **Innovations in food packaging**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2014.

IFOPE. **Indústria de alimentos no Brasil: o cenário atual e as tendências do setor**. 2021. Disponível em: <<https://blog.ifope.com.br/industria-de-alimentos-no-brasil/>>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

JURAN, J. M. **Juran on quality by design : the new steps for planning quality into goods and services**. New York Etc.: The Free Press, 1992.

YAM, K. L. (2009). **Wiley Encyclopedia of Packaging Technology** .3 ed. John Wiley & Sons.

LUNETTA, A. de R G. Metodologia da Pesquisa Científica e Acadêmica. **Revista OWL**, vol. 1, n. 2, Campina Grande, ago. 2023, p. 149.

McSHANE-VAUGHN, M. **ASQ Certified Six Sigma Black Belt Handbook**. 4. ed. American Society for Quality, 2022.

MORRIS, B. A. **Science and technology of flexible packaging: multilayer films from resin and process to end use**. 2. ed. Elsevier, 2022.

OHL, Danielle. **How to create the perfect package seal with automated packaging machines**. Viking Masek, 23 abr. 2018. Disponível em: <<https://vikingmasek.com/packaging-machine-resources/packaging-machine-blog/how-to-create-the-perfect-package-seal-with-automated-packaging-machines>>. Acesso em: 15 out. 2024.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice**. CRC Press, 2013.

ROSE, K. H. **Project Quality Management - Why, What and How**. 3. ed. J. Ross Publishing, Inc., 2022.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. London: Penguin Random House, 2016.

SUBRAMANIAM, P. **Stability and Shelf Life of Food**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2016.

VANDERROOST, M. et al. **Intelligent food packaging: the next generation**. **Trends in Food Science & Technology**, v. 39, n. 1, p. 47-62, 2014

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2013.

WYSOCKI, R. K. **Effective Project Management: Traditional, Agile, Extreme**. Wiley, 2011.