

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição
Curso de Engenharia de Alimentos

Leandra Teixeira dos Santos

APLICAÇÃO DO CICLO PDCA NO ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCLUSÃO DE
PLASTÔMEROS EM SACOS VALVULADOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE
NA SELAGEM INDUSTRIAL

Campo Grande / 2025

Leandra Teixeira dos Santos

APLICAÇÃO DO CICLO PDCA NO ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCLUSÃO DE
PLASTÔMEROS EM SACOS VALVULADOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE
NA SELAGEM INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Professor Orientador: João Renato de Jesus Junqueira

Campo Grande / 2025

RESUMO

As embalagens são componentes estratégicos na cadeia de suprimentos da indústria de proteína de soja, sendo cruciais para a proteção e integridade logística do produto até o consumidor. No entanto, em sistemas de envase com sacarias valvuladas, a selagem por temperatura frequentemente apresenta falhas que comprometem a qualidade e a eficiência operacional, gerando altos índices de descartes e retrabalho. Tais não conformidades justificam a busca por soluções inovadoras, como a substituição dos materiais na área de selagem pela inclusão de plastômeros, um polímero conhecido por sua flexibilidade e excelente capacidade de solda. Deste modo, este trabalho propôs analisar a eficácia da implementação da substituição de embalagens convencionais por plastômeros em uma indústria localizada em Campo Grande/MS, , utilizando o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) para diagnosticar o problema e quantificar a redução de perdas. A implementação do plastômero, validada e guiada pelo rigor do Ciclo PDCA, demonstrou ser a ação corretiva fundamental para o problema da má selagem. A performance superior do novo material, com sua maior flexibilidade e menor ponto de fusão, permitiu solucionar a limitação técnica que gerava os altos índices de perdas. Os resultados foram imediatos e significativos: o número de sacarias com má selagem apresentou uma redução de aproximadamente 98%. Este sucesso, quantificado pela expressiva redução de perdas, garantiu um ganho substancial de produtividade e melhoria na integridade da cadeia logística, consolidando a eficiência operacional da indústria de proteína de soja.

Palavras-chave: Polímeros Flexíveis; Melhoria contínua; Ferramentas de qualidade; Termoselagem.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 IMPORTÂNCIA DAS EMBALAGENS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	7
2.2 PROCESSO DE SELAGEM POR TEMPERATURA	10
2.3 GESTÃO DE QUALIDADE E MELHORIA CONTÍNUA	13
2.3.1 CICLO PDCA	13
2.3.1.1 Plan (Planejamento)	15
2.3.1.2 Do	15
2.3.1.3 Check	16
2.3.1.4 Act	16
3 METODOLOGIA	17
3.1 COLETA DE DADOS	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 FASE PLAN (Diagnóstico do problema)	18
4.1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	18
4.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA CAUSA RAIZ	19
4.2 FASE DO (Implementação da melhoria)	20
4.3 Fase Check (Verificação dos resultados)	21
4.4 Fase Act (Padronização e ação futura)	23
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

O mercado da proteína de soja consolidou-se como um ativo estratégico de alcance global, com um valor de mercado projetado para alcançar patamares bilionários

até 2027. Este crescimento robusto é impulsionado tanto pelas crescentes tendências de consumo de dietas *plant-based* quanto pela busca mundial por fontes proteicas eficientes e de custo competitivo (VEGAN BUSINESS, 2022). O produto da indústria, que vai muito além do grão *in natura*, possui uma vasta gama de aplicações na cadeia de suprimentos, sendo um ingrediente essencial tanto na alimentação humana quanto na animal (MINUTO MT, 2025). As funcionalidades da proteína de soja são únicas, destacando-se a alta capacidade de retenção de água, a otimização da textura em formulações e a atuação como eficiente emulsificante. Tais características a tornam indispensável em diversos setores, desde a panificação e produtos cárneos análogos, até o enriquecimento nutricional de *snacks* (MBRF INGREDIENTS, 2020). Essa versatilidade e a escala de produção brasileira reforçam a importância de manter a integridade e a qualidade do produto final embalado.

Neste cenário logístico de alta demanda, a função das embalagens vai além de simples contenção e se estabelece como um componente estratégico. Sendo um item indispensável, à embalagem são atribuídas funções elementares e inseparáveis, como proteção, conservação, informação e conveniência. A função de conservação é muito importante, pois atua contra a deterioração causada por microrganismos, agentes químicos ou ações mecânicas e/ou físicas, garantindo a qualidade e a segurança do produto ao longo da vida útil (ABEJÓN et al., 2020).

No caso da sacaria valvulada polimérica utilizada para o envase da proteína de soja, a selagem por temperatura é o processo crucial que garante a integridade da embalagem. O sucesso desse fechamento é definido por uma complexa dinâmica que depende de quatro parâmetros essenciais: a temperatura de fusão do selante, a difusão da cadeia polimérica, a resistência do fundido e a taxa de cristalização (ILHAN et al., 2021). A falha neste ponto de controle compromete toda a cadeia de suprimentos, gerando perdas que se estendem da linha de produção até a chegada ao cliente final.

Apesar da sua importância, a selagem por temperatura apresenta desafios críticos que impactam diretamente a linha de produção. Conforme Clough (2009) e Aiyengar (2012), o problema central reside na dificuldade de manter o equilíbrio dos parâmetros termodinâmicos. A inconsistência térmica ou de pressão resulta em falhas de solda com consequências reais e distintas. Quando o calor aplicado é insuficiente, ocorre a falha por pouco calor, impedindo a fusão ideal e a molhabilidade, o que resulta em selagem fraca e vazamento imediato. Por outro lado, o calor excessivo leva à degradação do

polímero na interface, formando uma selagem que pode ser quebradiça. Essa condição não só aumenta o retrabalho para identificação de sacos danificados, mas também gera vazamentos tardios durante o manuseio logístico e o transporte.

Apesar de ser um fenômeno amplamente conhecido na indústria, o desequilíbrio térmico e a consequente falha de selagem representavam um desafio crônico na unidade de produção de proteína de soja em Campo Grande/MS. Neste contexto específico, a limitação técnica do polímero original da sacaria valvulada impedia a tolerância às variações normais de temperatura e pressão da linha de envase, resultando em altos índices de sacarias não conformes, retrabalho e perdas logísticas. Tais não conformidades justificaram a busca por soluções inovadoras e tecnicamente embasadas, concentrando a investigação na substituição do material da área de selagem por plastômeros. Este novo material, conhecido por sua alta flexibilidade e excelente capacidade de solda, foi identificado como a solução técnica para superar a rigidez e a baixa janela de processamento do polímero anterior.

A Gestão da Qualidade (GQ) possui como propósito central a estruturação de ações com o objetivo de diminuir o retrabalho e o desperdício, utilizando metodologias que estabelecem que a qualidade é uma responsabilidade compartilhada por todos na organização. Neste panorama, a GQ emerge como uma ferramenta estratégica que capacita as organizações com mecanismos para aprimorar continuamente seus processos e, consequentemente, alcançar seus objetivos, promovendo assim a melhoria organizacional (FEITEN; COELHO, 2019). Adicionalmente, a gestão da qualidade é baseada em elementos estratégicos que são articulados em fases como a eliminação de defeitos, a investigação das causas-raiz, a diminuição de erros e a redução de custos, o que contribui para a otimização do processo por meio do aumento da produtividade (CARVALHO e PALADINI, 2012). Neste contexto, o Ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) configura-se como um método de gerenciamento validado essencial, pois permite a identificação, análise e intervenção sistemática sobre as causas-raiz dos problemas. A aplicação rigorosa do PDCA é crucial para transpor a atuação meramente reativa, fomentando uma administração proativa que assegure a estabilidade e o aprimoramento contínuo dos processos críticos, como a termossolda, garantindo a integridade do produto final (SENA, 2023).

Deste modo, este trabalho propôs analisar a eficácia da implementação da substituição de embalagens convencionais por plastômeros em uma indústria localizada

em Campo Grande/MS, utilizando o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) para diagnosticar o problema e quantificar a redução de perdas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DAS EMBALAGENS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A história das embalagens se iniciou a aproximadamente 10.000 anos, quando sua principal finalidade era o transporte e armazenamento de água para consumo. Inicialmente os recipientes eram compostos por elementos naturais como cascas de coco ou conchas. Contudo, essa técnica rudimentar evoluiu significativamente, dando lugar a uma segunda opção de invólucros, que incluía tigelas de madeira, cestas de fibras e potes de barro. Essa progressão contínua transformou a embalagem de um simples vasilhame para a estocagem em um produto com processos de fabricação altamente sofisticados, que atua hoje decisivamente como um fator crucial na decisão de compra do consumidor (ARTVAC, 2023).

O crescimento contínuo da população mundial e a expansão da urbanização fizeram com que a indústria de alimentos ampliasse a produção e, crucialmente, de garantisse o transporte adequado dos produtos até os centros urbanos. Nesse contexto, a embalagem assume um papel que vai além do mero acondicionamento. Conforme Vitale et al. (2018) e Abejón et al. (2020), a embalagem deve cumprir simultaneamente requisitos rigorosos de proteção, logística e comercialidade. Legalmente, a embalagem é definida como qualquer invólucro ou recipiente destinado a proteger matérias-primas, semi-elaborados ou produtos acabados (BRASIL, 2018).

Sendo um item indispensável, à embalagem são atribuídas funções elementares: proteção, conservação, informação e conveniência. A função de conservação é vital para manter a qualidade e a segurança do produto, atuando contra a deterioração causada por micro-organismos, agentes químicos ou ações mecânicas e/ou físicas (ABEJÓN et al., 2020). Além disso, a embalagem é o principal veículo de comunicação com o consumidor, sendo fundamental para o *marketing* e para facilitar a decisão de compra (BARÃO, 2011; JORGE, 2013). Atendendo tanto às exigências da indústria quanto às demandas do consumidor, a inovação tecnológica no processo e no material é essencial para manter a competitividade em um mercado global (CABRAL et al., 2015).

Para garantir a proteção em toda a cadeia de suprimentos, as embalagens são estruturadas em três níveis. As embalagens primárias são as que mantêm contato direto com o alimento e têm a função essencial de contê-lo e conservá-lo. As secundárias

agrupam as primárias e servem como suporte de informação, enquanto as embalagens terciárias (ou de transporte) agrupam as demais, garantindo a proteção durante o manuseio e a logística, sendo o custo e a capacidade de paletização fatores decisivos em sua escolha (BARÃO, 2011; JORGE, 2013).

A integridade do produto, como no caso da proteína de soja, depende criticamente da função barreira da embalagem primária. É imperativo que os materiais utilizados apresentem elevada capacidade de bloqueio contra o vapor de água e o oxigênio, além de um bom desempenho mecânico (SANGRONIZ et al., 2019). A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regula estritamente a segurança desses materiais, estabelecendo normas como a RDC nº 326/2019, que define a lista positiva de polímeros e os limites de migração para assegurar que não haja transferência de componentes químicos prejudiciais ao alimento (BRASIL, 2020).

No contexto dos materiais de embalagem para alimentos, os plásticos dominam o mercado devido à sua versatilidade, baixo custo, peso reduzido e excelente processabilidade. De acordo com a Associação Brasileira de embalagens (ABRE, 2019), os polímeros representam a maior porcentagem do valor de produção de embalagens no Brasil (41%). Materiais como o polietileno (PE) e o polipropileno (PP) são amplamente difundidos em diversas aplicações (SANGRONIZ et al., 2019). No entanto, a grande escala de produção e a durabilidade prolongada desses polímeros no meio ambiente, aliadas à baixa retenção de valor para reciclagem, geram um problema ambiental significativo (WEF, 2016).

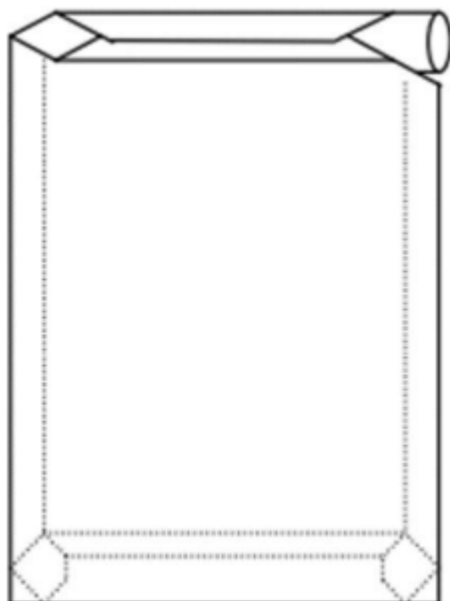
Outros materiais complementam o mercado com funções específicas. As embalagens metálicas (19% do valor de produção) conferem alta proteção mecânica e característica de barreira total contra luz e umidade, sendo vitais para processos de esterilização e conservação a longo prazo (LANDIM et al., 2015). O vidro (6%) oferece inércia química e segurança, além de ser 100% reciclável. Por fim, materiais celulósicos (papel e papelão) são valorizados pelo baixo peso e facilidade de impressão, mas apresentam desvantagens em termos de resistência mecânica e barreira, sendo frequentemente utilizados em combinação com outros materiais (JORGE, 2013). A escolha do material é sempre uma ponderação entre as necessidades de conservação do alimento e os aspectos de custo, logística e impacto ambiental.

2.2 SACOS VALVULADOS

O saco valvulado, amplamente utilizado no envase de produtos industriais a granel, é projetado para atender às exigências de alta produtividade e integridade logística. Conforme informações técnicas do fornecedor Videplast, essas embalagens incorporam faixas micro ou nano perfuradas para controlar o nível de desaeração, otimizando seu desempenho em linhas de alta velocidade. A integridade do produto é garantida por estruturas desenvolvidas com formulações inovadoras, que conferem elevada resistência mecânica e alta barreira à umidade. Adicionalmente, a combinação dessas estruturas com faixas gofradas é estratégica para o controle do coeficiente de fricção (COF) e para assegurar uma formatação segura e estável durante a paletização (VIDEPLAST, 2025)

A estrutura da sacaria valvulada é caracterizada por ter o fundo e o topo completamente selados, sendo a união desses pontos realizada por colagem ou costura. Tais embalagens são definidas pela presença de uma válvula (que pode ser interna ou externa) e podem apresentar laterais sanfonadas ou planas, como ilustrado na Figura 1. Este tipo de embalagem é altamente valorizado na indústria devido à sua compatibilidade com equipamentos de envase automático de alta velocidade e por facilitar o arranjo e a estabilidade durante o processo de paletização. O fechamento final da sacaria, essencial para a segurança do produto, pode ser concretizado pela inserção da válvula no interior do recipiente ou, mais comumente, por meio de selagem térmica (KATSUMATA, 2021).

Figura 1 - Representação do saco de papel com válvula externa.



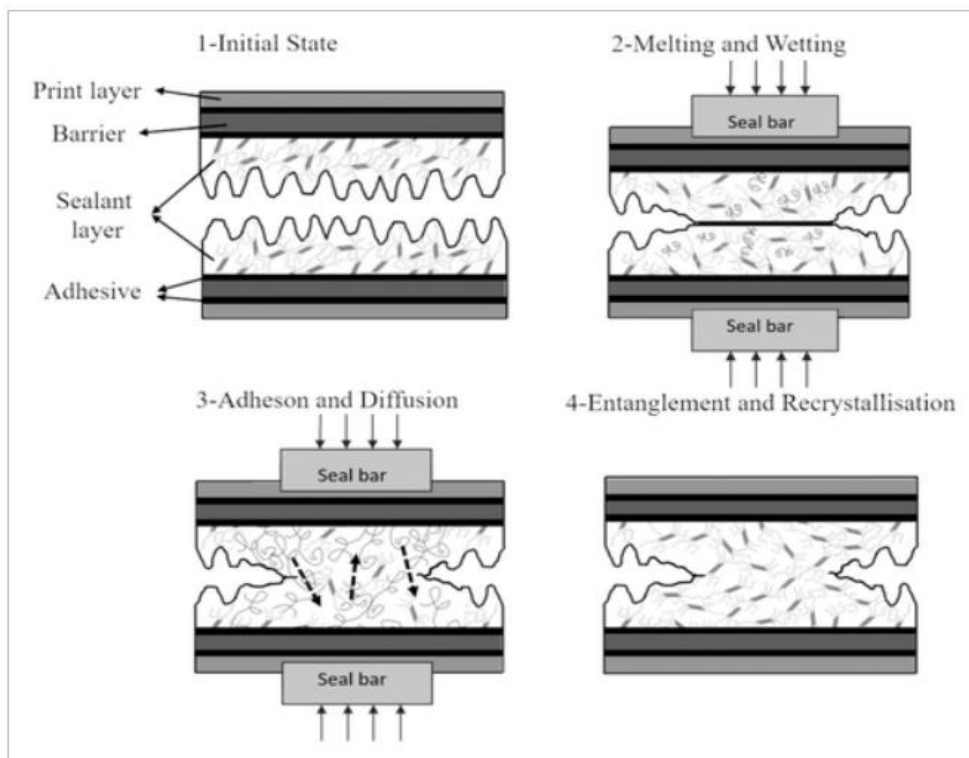
Fonte: adaptado de (FRIEDMAN, W. F.; KIPNEES, J. J. Distribution Packaging. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1977)

2.2 PROCESSO DE SELAGEM POR TEMPERATURA

A selagem por temperatura é um processo crucial na garantia da integridade da embalagem e consequentemente do produto armazenado, sendo definida por uma dinâmica envolvendo quatro parâmetros: temperatura de fusão do selante, difusão da cadeia polimérica, resistência do fundido e taxa de cristalização (ILHAN et al., 2021)

O processo de selagem por temperatura em polímeros, exemplificado na Figura 2, é um mecanismo de adesão física que integra principalmente os elementos linha de selagem (*sealant layer*), barreiras (*barrier*) adesivos (*adhesive*) e a linha de impressão (*print layer*), que acontece em basicamente 6 etapas, sendo elas umedecer e derreter (etapa 2); difusão e adesão (etapa 3) e por fim emaranhamento e recristalização (etapa 4). Além disso, na primeira ilustração da figura temos os componentes camada de impressão (*print layer*), barreira (*barrier*), camada selante (*sealant layer*) e os adesivos (*adhesive*) (ILHAN et al., 2021).

Figura 2 - Mecanismos por trás da selagem a quente de embalagens flexíveis



Fonte: Ilhan et al., 2021

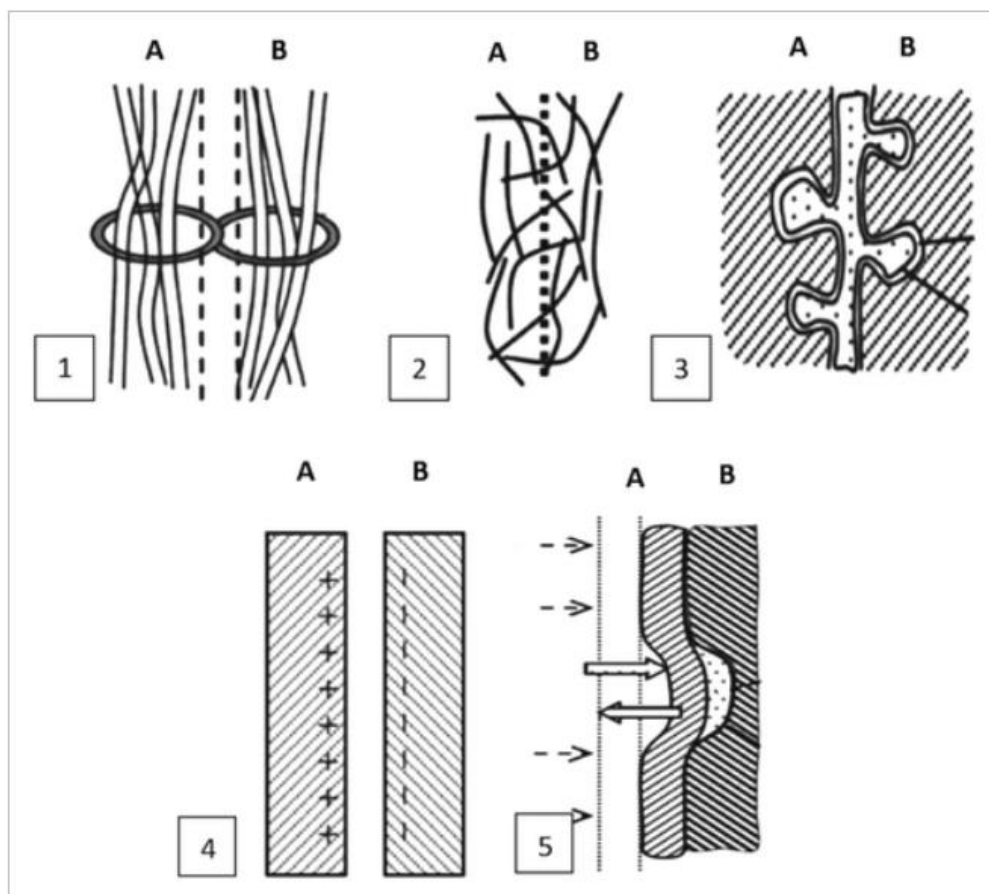
Para o sucesso das aplicações de interface, o umedecimento é um parâmetro fundamental, pois ele é responsável por preencher as pequenas irregularidades entre as duas superfícies logo nos instantes iniciais do processo de vedação. Conforme Schuler (2016), o desempenho dessa molhabilidade está intimamente ligado à energia livre de superfície (ELS) do material: uma ELS mais elevada indica maior potencial de interação entre os materiais. A ELS pode ser quantificada pela medição do ângulo de contato, uma vez que a diminuição desse ângulo sinaliza o aumento do potencial de interação e da ELS. No entanto, é crucial considerar que a topografia superficial do material, como a rugosidade, também afeta essas medições. Concomitantemente ao umedecimento, a aplicação de calor inicia a fusão do material. Embora o derretimento adicione complexidade à dinâmica do umedecimento, o cálculo da molhabilidade do selante permite estimar a energia necessária para iniciar e consolidar a união entre as duas superfícies.

A difusão das moléculas é uma fase determinante na vedação térmica e a sua taxa ao longo da interface é condicionada por fatores internos, como o peso molecular (PM) e o grau de ramificação das cadeias. Mazzola (2012) aponta que cadeias moleculares de maior comprimento são mais eficazes em acumular força na área de selagem do que as mais curtas. Apesar disso, a difusão de polímeros com baixo PM é concluída em menos tempo do que a de cadeias mais longas, com PM elevado, o que tende a acelerar a velocidade de vedação (NAJARZADEH, 2017). Contudo, esse ganho de velocidade pode resultar em menor aderência ou emaranhamento final. Deutsch (1991) ressalta que, na selagem entre polímeros quimicamente idênticos (selagem a si próprio), o ritmo de interdifusão e autodifusão é equivalente. A taxa de autodifusão molecular é limitada, cessando quando se alcança o ponto de penetração de equilíbrio (BOIKO, 2001).

A adesão entre as superfícies é o mecanismo que promove o aumento da resistência na interface de vedação. Múltiplos mecanismos de autoadesão interfacial, como a ligação em cadeia, intermolecular, em cunha, eletrostática e a vácuo, contribuem para a união de superfícies poliméricas, representadas por A e B na Figura 3 (HISHINUMA, 2007). No caso de polímeros amorfos, o desenvolvimento da resistência depende integralmente da dinâmica de difusão e autoadesão, sem influência do resfriamento. Por outro lado, para polímeros semicristalinos, a força de adesão pode ser mensurada imediatamente após a vedação por meio do teste de aderência a quente. No entanto, é fundamental notar que a resistência ao descascamento medida antes e depois

do resfriamento irá variar devido à formação de cristais e às alterações na tenacidade e nas propriedades reológicas dos materiais (NAJARZADEH, 2017; NAJARZADEH, 2015).

Figura 3 - Adesão em microescala. (1) Ligação em cadeia, (2) ligação intermolecular, (3) ligação em cunha, (4) ligação eletrostática e (5) ligação a vácuo



Fonte: HISHINUMA, 2007

O emaranhamento das cadeias moleculares, evidenciado na última etapa da Figura 2, é outro fator decisivo, sendo determinado pelo PM, comprimento e teor de ramificação das moléculas que se difundem na espessura da solda. Com o movimento molecular ampliado pelo calor, as forças de atração surgem e o emaranhamento, que se inicia nos estágios primários, continua durante o resfriamento. A densidade do emaranhamento tem um efeito crítico na resistência final (ILHAN, 2021). Gradys (2005) destaca que para polímeros semicristalinos, a recristalização é uma etapa adicional no processo de vedação. Nesse processo, a taxa de resfriamento é crucial: um resfriamento lento produz menos cristais, porém maiores, enquanto um resfriamento rápido resulta em uma grande quantidade de cristais menores, o que impacta as propriedades mecânicas do selo final.

Apesar dos benefícios, a selagem por temperatura apresenta desafios críticos que impactam diretamente a linha de produção e a cadeia de suprimentos. De acordo com Clough (2009) e Aiyengar (2012), o principal problema reside na manutenção do equilíbrio dos parâmetros termodinâmicos, sendo que a inconsistência térmica ou de pressão resulta em falhas de solda com consequências reais como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Problemas envolvendo o equilíbrio entre os parâmetros termodinâmicos na selagem

Tipo de Falha	Causa e Mecanismo	Consequências Imediatas e Operacionais
FALHA POR POUCO CALOR	Quando o calor aplicado é insuficiente, o polímero selante não atinge a temperatura de fusão ideal, comprometendo a molhabilidade e impedindo o contato efetivo entre as superfícies.	Selagem fraca ou incompleta, que causa o vazamento do produto na linha de envase ou no palete, gerando perda direta de material e a necessidade de descarte imediato da embalagem não conforme.
FALHA POR EXCESSO DE CALOR	O calor excessivo degrada o polímero na interface, podendo levar à formação de uma selagem que parece forte, mas é quebradiça.	Aumenta o retrabalho para identificar e retirar sacos danificados e, principalmente, gera vazamentos tardios durante o manuseio logístico e o transporte.
IMPACTO LOGÍSTICO E NO CLIENTE	A selagem deficiente faz com que a embalagem não consiga suportar as tensões do paletizador ou do transporte, resultando em sacaria rasgada ou vazando no armazém.	Essa falha compromete a integridade do palete (perda da conformidade logística) e é a causa primária de reclamações do cliente final, que recebe o produto violado, afetando a imagem da marca e gerando custos com logística reversa e substituição de mercadoria.

Fonte: Autora, 2025

2.3 GESTÃO DE QUALIDADE E MELHORIA CONTÍNUA

2.3.1 CICLO PDCA

O Ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Deming, teve suas bases estabelecidas por Walter A. Shewhart em 1920, mas sua disseminação global ocorreu apenas na década de 1950, por intermédio de William Edward Deming. Deming aplicou a ferramenta no Japão para auxiliar na revitalização das indústrias após a Segunda Guerra Mundial, período em que a qualidade dos produtos japoneses estava em descrédito, consolidando assim a notoriedade do ciclo (LOPES; ALVES, 2020). Desde então, o PDCA se tornou um pilar para organizações que buscam a melhoria contínua de seus processos, permitindo a análise detalhada dos problemas operacionais e a

correção sistemática dos pontos de falha até o atingimento das metas pré-estabelecidas (GAYER, 2020).

A aplicação do PDCA é abrangente, sendo útil para estabelecer e alcançar objetivos em diversos setores de uma empresa. Para otimizar a execução de suas etapas, o ciclo pode ser complementado por diversas ferramentas da qualidade que auxiliam na coleta de dados, na identificação e na melhoria dos problemas (LOPES; ALVES, 2020; WERKEMA, 2013). No Quadro 2 podemos visualizar as principais conclusões dos autores, utilizando o método em cenários variados.

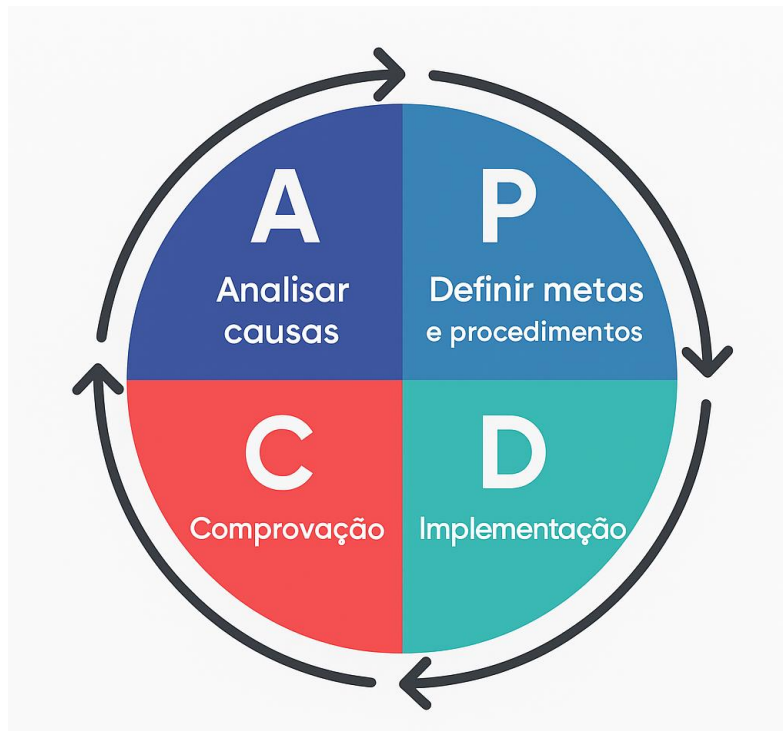
Quadro 2 - Conclusões obtidas por outros autores utilizando o método PDCA

Autor	Atividade	Conclusão
ALVES, 2025	Aplicar o ciclo PDCA como ferramenta para gerenciar as atividades do dia em um exemplo prático de redução de horas extras.	O ciclo foi eficaz, reduzindo em 40% as horas extras no cenário aplicado.
DA LUZ, 2017	Aumentar a produtividade em atividades de manutenção de Shuts de correias transportadoras.	Através do ciclo foram identificadas as causas raízes e implementadas melhorias como manutenção preventiva.
ALENCAR, 2008	Utilização do ciclo PDCA como método gerencial na análise de um problema crítico dentro da operação logística.	Maior satisfação dos clientes, em virtude da redução dos erros operacionais e proporcionou ganhos de produtividade e maior confiabilidade do processo.

Fonte: Autora, 2025

O Ciclo PDCA é estruturado por quatro etapas sequenciais representadas na Figura 4, representadas pelas iniciais em inglês: *Plan* (Planejamento), *Do* (Execução), *Check* (Verificação) e *Act* (Agir Corretamente). Essa estrutura assegura que a melhoria seja um processo iterativo e fundamentado, desde o diagnóstico inicial até a padronização final da solução.

Figura 4 - Etapas do sistema PDCA



Fonte: Autora, 2025

2.3.1.1 Plan (Planejamento)

A etapa *Plan* (Planejamento) é considerada a fase inicial e a mais crucial de todo o Ciclo PDCA, pois é onde se define o destino do processo, estabelecendo-se os objetivos e as metas a serem atingidas, juntamente com o plano de ação que guiará as intervenções (LOPES; ALVES, 2020). Essa fase demanda um esforço considerável e, quanto mais complexa a situação, maior será a necessidade de ferramentas de apoio para a coleta e o tratamento das informações (ARAUJO et al., 2017). O planejamento deve ser executado de forma estruturada, começando pela identificação precisa do problema para que o plano de ação seja assertivo. Em seguida, define-se a meta a ser alcançada. Posteriormente, realiza-se a análise do fenômeno para coletar dados sobre o erro, seguida pela análise do processo para inferir as causas subjacentes. A conclusão da etapa é marcada pela elaboração do plano de ação, que define as medidas necessárias para solucionar o problema e atingir a meta (NABUCO, 2018).

2.3.1.2 Do

A fase *Do* (Execução) marca o início prático da implementação do planejamento. Neste momento, o plano de ação, previamente definido, é comunicado e explicado a todos os colaboradores envolvidos no processo. Investimentos em capacitação da equipe e a correção de quaisquer fragilidades operacionais devem ser realizados (LOPES; ALVES, 2020). A execução do plano é comumente estruturada em duas fases: a instrução e a aplicação da melhoria. Durante a instrução, as responsabilidades e as tarefas específicas são detalhadas aos colaboradores. Posteriormente, inicia-se a execução propriamente dita, sendo crucial que os itens de controle estabelecidos no planejamento sejam medidos de forma contínua e precisa (ARAUJO et al., 2017).

2.3.1.3 Check

A terceira fase do ciclo, *Check* (Verificação), tem como propósito confirmar se as ações implementadas estão convergindo para os objetivos estabelecidos na etapa *Plan* (LOPES; ALVES, 2020). O procedimento essencial desta fase é a comparação rigorosa entre os dados coletados antes da intervenção (planejamento) e os resultados obtidos durante a execução, visando determinar a eficácia das ações e a redução efetiva dos problemas identificados (ARAUJO et al., 2017). Para otimizar esta análise, a etapa pode ser segmentada: é fundamental mensurar os efeitos secundários da aplicação do plano, avaliar a persistência ou eliminação do problema e, por fim, confrontar os resultados alcançados com os índices iniciais (GOMES FILHO; GASPAROTTO, 2019).

2.3.1.4 Act

A fase final do ciclo, *Act* (Ação), é dedicada à tomada de decisões com base nos resultados verificados. Se a implementação trouxe os resultados esperados, a solução deve ser padronizada para consolidar o ganho de qualidade. Caso o objetivo não tenha sido atingido, é imprescindível conduzir uma nova busca pelas causas-raiz dos erros encontrados, a fim de evitar reincidências e garantir que o processo de melhoria seja retomado (LOPES; ALVES, 2020). A efetivação de novos padrões exige que as informações sejam prontamente comunicadas a todos os setores impactados por meio de canais internos. É crucial que a equipe receba o treinamento necessário para operar o novo padrão e que o monitoramento seja mantido para assegurar a aderência e prevenir o retorno do problema (ARAUJO et al., 2017).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido usando o estudo de caso como metodologia principal, com ênfase na análise quantitativa para avaliar a eficácia da melhoria aplicada. A estrutura de execução da pesquisa será guiada pelo ciclo PDCA, apresentado anteriormente, garantindo uma verificação sistemática dos dados.

A empresa objeto desta pesquisa se situa na região centro-oeste do Brasil, atuando no segmento de proteína de soja destinada à alimentação humana e animal.

Na presente pesquisa, foi analisada a linha de envase de sacarias de 11,34 quilos em busca de soluções para eliminação de desperdícios devido a defeitos na selagem, no período de janeiro de 2025 a outubro de 2025. As embalagens utilizadas são de plásticos e do tipo valvulada, sendo que a única abertura é encaixada na máquina e recebe o produto. Quando finalizado esse processo, a embalagem passa pelo processo de selagem por temperatura. Essa selagem se dá pela vedação de aperto, já que é aplicado pressão para juntar as faces e o tipo de selo obtido é o de bloqueio, pois para abrir a embalagem é necessário cortá-la.

Na fase *Plan* utilizou-se os princípios de um diagrama de Ishikawa (espinha de peixe) para construir uma tabela, facilitando um diagnóstico mais aprofundado das possíveis causas da má selagem. Foi considerada a categoria dos 6M (Material, máquina, método, mão de obra, medição, meio ambiente) para estruturar o levantamento das hipóteses.

A execução do plano de ação, na fase *Do*, deu-se por meio de dois testes práticos em campo conduzido diretamente na linha de envase. Após o alinhamento técnico com o fornecedor a respeito das propriedades do plastômero (solução proposta após conclusão da fase *plan*) e sua viabilidade, um lote específico de sacaria valvulada, contendo a nova composição em sua área de selagem, foi entregue à unidade. O teste foi realizado sob condições operacionais reais de alta produtividade, simulando o ambiente onde a falha de selagem ocorria cronicamente.

Primeiramente o desempenho da nova embalagem foi monitorado em tempo real com sacarias de teste rodando na linha, por uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais da qualidade, produção e por representantes técnicos do fornecedor. Esse acompanhamento conjunto foi crucial para observar a reação do material ao calor da barra de selagem, a formação da solda e a integridade do saco ao longo de toda a cadeia interna, desde o envase até a paletização.

A segunda etapa dos testes foram conduzidas em um período de 7 meses, onde as linhas de valvulados foram alimentadas exclusivamente com a adição do plastômero.

Após a validação em campo, focou-se na mensuração objetiva dos resultados obtidos, iniciando a fase *check*. O processo consistiu na análise comparativa dos indicadores-chave de desempenho entre o período anterior (com o material antigo, antes de abril) e o período posterior à implementação do plastômero. Foram utilizados as quantidades de reportes de sacarias com problema de selagem, extraídas dos relatórios de não conformidade do armazém. Para os filtros aplicados na planilha, utilizou-se apenas produtos que são envasados em sacos valvulados, já que no relatório compila-se as bobinas e os valvulados.

Para finalização do ciclo e do estudo, com a fase *act*, foi feita a conclusão com os dados obtidos ao longo da implementação, analisando a diminuição dos casos de reportes de sacarias com problema de selagem.

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de dados secundários, consistindo na análise documental e comparativa dos reportes de não conformidade emitidos pelo armazém.

Com essas informações será possível estabelecer uma base de dados dos indicadores de perdas anteriores à implementação do plastômero e posteriormente mensurar a redução pós intervenção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tópicos a seguir detalham, sequencialmente, as quatro fases do ciclo.

4.1 FASE PLAN (Diagnóstico do problema)

4.1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Durante acompanhamento dos reportes do armazém, que são formalizados em uma planilha e notificados via correio eletrônico, foi identificado o problema de má selagem em sacos valvulados, conforme Figura 5.

Esse defeito no processo acarreta no descarte ou reprocesso do produto e compromete a relação entre cliente e empresa, sendo necessário uma busca imediata para a resolução do problema.

Figura 5 - Exemplos de embalagens com problemas de vedação



Fonte: Autora, 2025

4.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA CAUSA RAIZ

A identificação da causa da má selagem foi metodologicamente iniciada com a convocação de uma sessão estruturada de *brainstorming*, que envolveu um time multifuncional composto por especialistas da produção, gerência, controle de qualidade e representantes seniores da organização.

O objetivo primário deste debate foi a estruturação da análise de causa-raiz da falha de selagem, com a discussão convergindo, inicialmente, sobre duas hipóteses principais: máquina e material. Como ilustrado no Quadro 3, foram categorizadas as potenciais deficiências relacionadas às máquinas, abrangendo desde a instabilidade da temperatura de selagem até a precisão da pressão aplicada. Paralelamente, foram avaliadas as limitações inerentes ao material, especificamente a estreita janela de processamento térmico do polímero original.

Quadro 3 - Análise crítica das possíveis causas raízes

Categoria	Causa potencial principal	Conclusão/Justificativa
Material	Composição da sacaria	O material não suporta a variação térmica da linha

Máquina	Inconsistência na temperatura/pressão da barra	A temperatura aplicada pode não ser suficiente para selar as sacarias de forma eficaz
---------	--	---

Fonte: Autora, 2025

As investigações iniciaram na categoria máquina, especificamente na regulação de temperatura. A hipótese era de que a temperatura aplicada não estava sendo suficiente para selar corretamente a sacaria. Para testar essa premissa, foram realizados testes práticos de variações de temperatura e os resultados demonstraram que, quando tentamos compensar a falha aumentando o calor empregado, o polímero da área de vedação sofre um endurecimento excessivo, tornando-o quebradiço. Com isso, ao invés de selar, o cenário de sacos abertos acabava se agravando devido a fragilidade induzida. Essa condição poderia gerar um transtorno muito maior já que havia a possibilidade da falha passar despercebida na fábrica e armazém e ser evidenciada somente quando o produto chegasse no cliente.

Com a comprovação de que o equipamento, isoladamente, não era a causa primária, e sim a forma como o material reagia ao calor, a investigação foi direcionada para a categoria material. A análise indicou que a composição do polímero original possuía uma janela de processamento térmico muito estreita para as demandas de velocidade e variação da linha de produção. Essa deficiência impedia a fusão adequada sem causar danos.

Assim, a causa-raiz foi identificada: a limitação intrínseca da matéria-prima era o fator crítico que comprometia a integridade da selagem. Esta conclusão, validada com o suporte técnico do fornecedor, fundamentou a decisão de prosseguir com a implementação do plastômero, um polímero com propriedades de solda mais atrativas, como a ação corretiva a ser executada na fase *do*.

4.2 FASE DO (Implementação da melhoria)

A solução técnica adotada para mitigar as falhas crônicas na selagem foi a substituição do material da sacaria valvulada para uma composição que incorpora o plastômero. Conforme a Declaração de Conformidade fornecida pela empresa e atestada pelo responsável técnico, o polímero introduzido é um plastômero que combina propriedades de polietilenos e elastômeros. Essa combinação resulta em um material

com duas características cruciais para a solução do problema com maior flexibilidade e temperatura de fusão inferior. Enquanto o material anterior tornava-se quebradiço sob o calor da seladora, o plastômero oferece uma capacidade de selagem superior, pois seu ponto de fusão mais baixo garante que a solda ocorra de maneira mais rápida e eficiente, sem comprometer a integridade estrutural da embalagem mesmo sob as variações da linha de alta produtividade.

Como descrito na metodologia, a verificação *in loco* foi acompanhada por uma equipe multidisciplinar e o resultado obtido pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Resultado da selagem em valvulado após aplicação do plastômero



Fonte: Autora, 2025

Para Leonel (2008) o desenvolvimento dessa fase se deu de maneira diferente. Ele usou da ferramenta brainstorm para fazer um levantamento de ideias a respeito das paradas na máquina estudada, até que no final, foi definido um cronograma com pelo menos 8 planos de ações diferentes, mostrando a versatilidade do ciclo PDCA

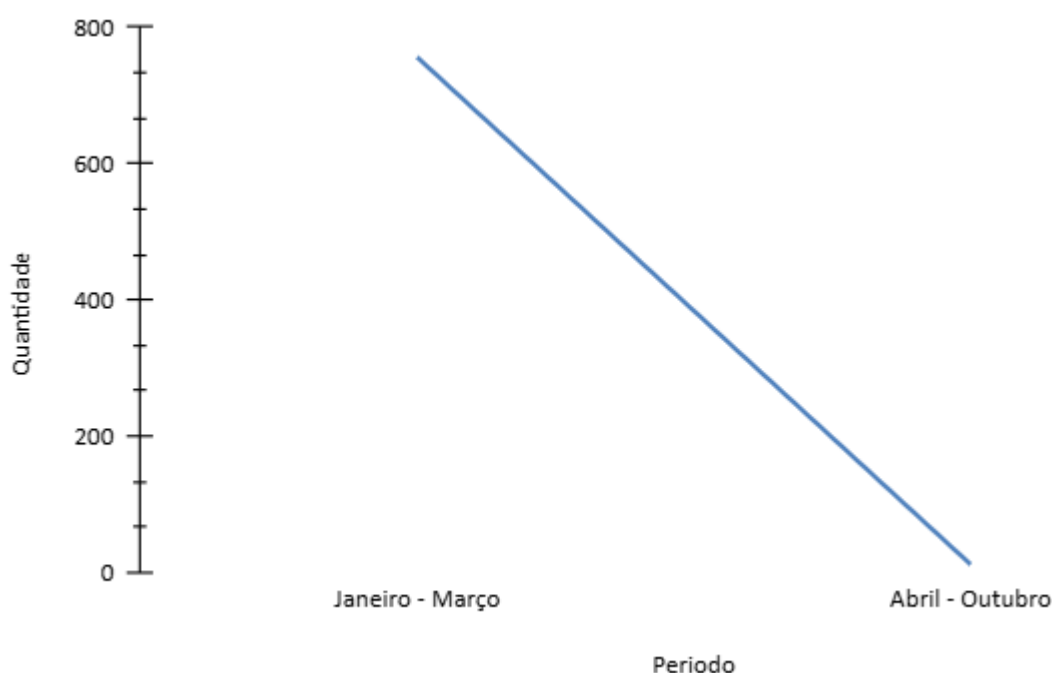
4.3 Fase Check (Verificação dos resultados)

Após a validação em campo, focou-se na mensuração objetiva dos resultados obtidos. Para uma maior confiabilidade nos dados, foram analisados reportes dos produtos texturizados, que são envasados exclusivamente em sacos valvulados.

Até o final de maio de 2025, data que foi implementada a melhoria, haviam reportes de 756 sacarias com problema de selagem. Após esse período, houveram apenas 2 reportes, uma em julho, de apenas uma sacaria e outra em setembro,

reportando problema em 11 sacarias de um lote específico. A Figura 7 demonstra o declínio significativo de aproximadamente 98% dos casos de avaria, confirmando o que o ciclo PDCA é uma ferramenta importante no aumento do rendimento das empresas através da elaboração dos planos de ação (GOMES, 2019).

Figura 7 - Quantidade de sacos x período



Fonte: Autora, 2025

Um impacto de grande magnitude também foi observado por Leonel (2008), em seu trabalho sobre a redução do índice de paradas de máquinas na produção de pregos aplicando o ciclo PDCA para guiar o estudo. Inicialmente seu objetivo era reduzir de 34,41% para 20%, entretanto, o sucesso do estudo foi além, e conseguiram diminuir para 19,13%.

Em sua pesquisa, Valle Junior (2019) aplicou a ferramenta em uma indústria de embutidos para aprimorar o processamento de mortadelas e cozidos. A intervenção resultou em uma melhoria notável na resolução dos defeitos operacionais. O principal sucesso alcançado foi a redução expressiva do gotejamento de matéria-prima, o que, por sua vez, impactou diretamente a diminuição dos custos de produção e elevou a qualidade das propriedades físico-químicas dos produtos finais.

4.4 Fase Act (Padronização e ação futura)

Nesta etapa duas ações diferentes podem ser realizadas, a depender do resultado. Se as metas não tiverem sido alcançadas faz-se necessário investigar novamente a causa raiz para que novas soluções sejam encontradas e não ocorra mais erros. Se as metas foram alcançadas ocorre a padronização dos processos iniciando um novo ciclo (GRANERO, 2014).

Com a validação dos resultados positivos na fase *check*, a etapa *Act* do ciclo PDCA foi iniciada para consolidar a melhoria e evitar a recorrência do problema. Foi tomada a decisão estratégica de padronizar o uso da embalagem com plastômero na linha de sacaria valvulada, oficializando a nova embalagem como o padrão operacional da unidade. Além da padronização do material, a robustez e a eficácia da solução geraram como ação corretiva estendida a expansão da implementação do plastômero para outro tipo de embalagem usado na planta, os sacos bobinas. Esta iniciativa visa replicar o sucesso obtido na selagem e na redução de perdas em outras linhas de envase, garantindo que o ganho de qualidade e produtividade se torne um padrão sistêmico em toda a operação.

Sousa (2019), em seu estudo sobre a utilização de ferramentas de gestão da qualidade para o aumento da eficiência de remoção de carga orgânica de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais, definiu sua padronização através da criação e revisão de padrões e o treinamento do time, de forma a garantir que os resultados obtidos, de fato, se mantivessem sustentáveis.

Já Valle Junior (2019) padronizou a temperatura de entrada da papada na câmara de descongelamento forçado para que a mesma atingisse temperatura positiva em no máximo 5hs.

5. CONCLUSÃO

A implementação do plastômero, validada e guiada pelo rigor do ciclo PDCA, demonstrou ser a ação corretiva fundamental para o problema da má selagem no caso apresentado. A performance superior do novo material, com sua maior flexibilidade e menor ponto de fusão, permitiu solucionar a limitação técnica que gerava os altos índices de perdas. Os resultados foram imediatos: a redução nos reportes de vazamento foi drástica, caindo aproximadamente 98% o número de sacarias com má selagem. Este sucesso, quantificado pela expressiva redução de perdas e retrabalho, garantiu um ganho substancial de produtividade e melhoria na integridade da cadeia logística. A decisão de padronizar o uso do plastômero e expandir a solução para os sacos bobina

(Fase *act*) comprova a viabilidade e o impacto econômico positivo desta inovação de materiais, consolidando a qualidade do produto final e prevenindo futuras não conformidades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEJÓN, R. et al. Environmental impact assessment of the implementation of a Deposit Refund System for packaging waste in Spain: A solution or an additional problem? **Science of the Total Environment**, v. 721, n. 137744, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137744.

ABRE. Associação Brasileira de Embalagens. **Embalagens**. São Paulo: ABRE, 2018.

AIYENGAR, R.; DIVECHA, J. Experimental and statistical analysis of the effects of the processing parameters on the seal strength of heat sealed, biaxially oriented polypropylene film for flexible food packaging applications. **J Plast Film Sheeting**, v. 28, n. 3, p. 244-256, 2012. DOI: 10.1177/8756087912440000.

ALENCAR, J. F. **Utilização do ciclo PDCA para análise de não conformidades em um processo logístico**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

ALVES, É. A. C. O PDCA como ferramenta de gestão da rotina. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO**, 11., 2015. Niterói. Anais... Niterói: CNEG, 2015. p. 1-12.

ARTVAC. **História da embalagem e sua evolução até hoje**. 12 mai. 2023. Disponível em: <https://artvac.com.br/historia-da-embalagem-e-sua-evolucao-ate-hoje/>. Acesso em: 19 de novembro de 2025.

BARÃO, M. Z. **Embalagens para produtos alimentícios**: Dossiê Técnico. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, 2011.

BOIKO, Y. M. et al. Healing of interfaces of amorphous and semi-crystalline poly (ethylene terephthalate) in the vicinity of the glass transition temperature. **Polymer (Guildf)**, v. 42, n. 21, p. 8695-8702, 2001. DOI: 10.1016/S0032-3861(01)00406-2.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 326, de 3 de dezembro de 2019. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre lista positiva de aditivos para elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos destinados a entrar em contato com alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 dez. 2019. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3889163/RDC_326_2019_.pdf/b39d15af-76a0-4221-8299-13e4b7858c06. Acesso em: 17 de novembro de 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O que é embalagem**. Brasília: MMA, 2018.

CABRAL, A. C. D.; CABRAL, A. C. B. Gerenciamento sistêmico de embalagem em indústrias fabricantes de bens de consumo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE**

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO), 2010. São Carlos. Anais... São Carlos: CONBREPRO, 2010.

CARVALHO, M. M. de; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CLOUGH, G. **Development of “Integrity Seal” Back Sealing Technology Development of “Integrity Seal” Hermetic Sealing Technology for the Back Seals of Flexible Packaging, and Application in the Food Industry**. Wrap, 2009.

DA LUZ PEREIRA RODRIGUES, A. et al. A UTILIZAÇÃO DO CICLO PDCA PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA MANUTENÇÃO DE SHUTS. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 18, 2017.

DEUTSCH, H. P.; BINDER, K. Interdiffusion and self-diffusion in polymer mixtures: a Monte Carlo study. **J Chem Phys**, v. 94, n. 3, p. 2294-2304, 1991. DOI: 10.1063/1.459901.

FEITEN, J. C. K.; COELHO, M. C. C. **Qualidade em foco: conceitos, ferramentas e métodos aplicados em Gestão da Qualidade**. São Paulo: Pimenta Cultural, 2019.

FRIEDMAN, W. F.; KIPNEES, J. J. **Distribution Packaging**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Co., 1977.

GAYER, J. A. C. A. **Gestão da Qualidade Total e Melhoria Contínua de Processos**. Curitiba: Contentus, 2020. 90 p.

GOMES FILHO, V.; GASPAROTTO, A. M. S. A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 383–392, 2019. DOI: 10.31510/infa.v16i2.660. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/660>. Acesso em: 22 out. 2025.

GRADYS, A. et al. Crystallization of polypropylene at various cooling rates. **Mater Sci Eng A**, v. 413-414, p. 442-446, 2005. DOI: 10.1016/j.msea.2005.08.167.

GRANERO, J. C. **Aplicação do ciclo PDCA em um produto alimentício**. 2014. 36f. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

ILHAN, I. et al. Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review. **Packaging Technology and Science**, v. 34, n. 6, p. 321-337, mar. 2021. DOI: 10.1002/pts.2564.

JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

KATSUMATA, T. V. **Aumento da padronização de sacos de papel multifolhados valvulados em uma empresa de modelo Business to Business**, 2021.

LANDIM, A. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 26, p. 82-92, 2015. DOI: 10.1590/0104-1428.1897.

LEONEL, P. H. **Aplicação prática da técnica do PDCA e das ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais para melhoria e manutenção de resultados**. 2008. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

LOPES, B. C.; ALVES, J. P. Ciclo PDCA aplicado na indústria do pescado. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1370–1379, jul./set. 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-054.

MAZZOLA, N. et al. Correlation between thermal behavior of a sealant and heat sealing of polyolefin films. **Polym Test**, v. 31, n. 7, p. 870-875, 2012. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2012.06.013.

MBRF INGREDIENTS. **Ingredientes de soja: aplicações na indústria**. MBRF Ingredients, 24 nov. 2020. Disponível em: <https://www.mbrfingredients.com.br/pt-br/blog/posts/ingredientes-de-soja-aplicacoes-na-industria/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MINUTO MT. **Soja: muito além do grão, um ativo estratégico para a alimentação, indústria e sustentabilidade**. Minuto MT, 10 nov. 2025. Disponível em: <https://minutomt.com.br/agro/soja-muito-alem-do-grao-um-ativo-estrategico-para-a-alimentacao-industria-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NABUCO, G. T. **Aplicação da metodologia PDCA e ferramentas da qualidade para mapeamento de ossos no produto final do meio peito**. 2018. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

NAJARZADEH, Z.; AJJI, A. Role of molecular architecture in interfacial self-adhesion of polyethylene films. **J Plast Film Sheeting**, v. 33, n. 3, p. 235-261, 2017. DOI: 10.1177/8756087917699246.

NAJARZADEH, Z.; AJJI, A.; BRUCHET, J. B. Interfacial self-adhesion of polyethylene blends: the role of long chain branching and extensional rheology. **Rheol Acta**, v. 54, n. 5, p. 377-389, 2015. DOI: 10.1007/s00397-015-0843-1.

RUIZ, G. J.; FIGUEIREDO, L. F. **Gestão de design: Estratégia no desenvolvimento de embalagens para sustentabilidade**. 2016. Disponível em: http://www.ngd.ufsc.br/files/2012/12/gilson_luiz_vf.pdf. Acesso em: 10 nov. 2025.

SANGRONIZ, A. et al. Packaging materials with desired mechanical and barrier properties and full chemical recyclability. **Nature Communications**, v. 10, n. 3559, 2019. DOI: 10.1038/s41467-019-11525-x.

SENA, W. N. O uso de ferramentas de controle da qualidade pela gestão escolar: o ciclo PDCA e a ferramenta 5W2H. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S.l.], v. 14, n. 8, p. 12634-12648, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i8.1979.

SCHULER, P.; HAAS, W. The wettability of sealing materials and its effect on sealing performance: part II. **Sea Technol**, v. 2016, n. 6, p. 7-11, 2016. DOI: 10.1016/S1350-4789(16)30183-0.

SOUSA, M. L. C. de M. **Aplicação do método PDCA para aumento da eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente bruto de uma indústria de bebidas do Estado do Ceará**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

STEHLLING, F. C.; MEKA, P. Heat sealing of semicrystalline polymer films. II. Effect of melting distribution on heat-sealing behavior of polyolefins. **J Appl Polym Sci**, v. 51, n. 1, p. 105-119, 1994. DOI: 10.1002/app.1994.070510112.

VALLE JÚNIOR, A. B. R. **APLICAÇÃO DO CICLO PDCA EM UMA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**. 2019. Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

VEGAN BUSINESS. **Mercado de proteína de soja atingirá US\$ 17,1 bilhões até 2027**. Vegan Business, 17 fev. 2022. Disponível em: <https://veganbusiness.com.br/mercado-de-proteina-de-soja/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

VIDEPLAST. **Sacos Valvulados de Alta Performance: características e benefícios**. [S.l.]: Videplast, [2025]. Disponível em: <https://videplast.com.br/produto/valvulado-1-pt/>. Acesso em: 18 out. 2025.

VITALE, G. et al. Environmental impact of a new industrial process for the recovery and valorisation of packaging materials derived from packaged food waste. **Sustainable Production and Consumption**, v. 14, p. 105-121, 2018. DOI: 10.1016/j.spc.2018.02.001.

WEF. World Economic Forum. **The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics**. WEF, 2016.

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