UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL

ELANA CARMELITA MARQUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA DE UM PROJETO PDCA IMPLEMENTADO POR EQUIPES DE MELHORIA CONTÍNUA: REDUÇÃO DO INDICADOR DE APARAS EM UMA INDÚSTRIA DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS)

JOÃO PESSOA

2025

ELANA CARMELITA MARQUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA DE UM PROJETO PDCA IMPLEMENTADO POR EQUIPES DE MELHORIA CONTÍNUA: REDUÇÃO DO INDICADOR DE APARAS EM UMA INDÚSTRIA DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial para a
Obtenção do grau de Bacharel em
Química Industrial.

Orientadora: Rebeca Tibau Aguiar

JOÃO PESSOA

2025

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Elana Carmelita Marques da.
Avaliação de eficácia de um projeto PDCA implementado por equipes de melhoria contínua: redução do indicador de aparas em uma indústria de Poliestireno Extrudado (XPS) / Elana Carmelita Marques da Silva. - João Pessoa, 2025.
33 f. : il.

Orientação: Rebeca Tibau Aguiar.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. PDCA. 2. Melhoria Contínua. 3. Poliestireno Extrudado (XPS). 4. Termoformagem. 5. Redução de Aparas. I. Aguiar, Rebeca Tibau. II. Título.

UFPB/BSCT CDU 66.01(043.2)

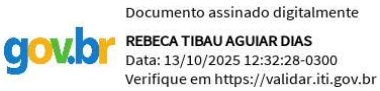
Elaborado por ROSANGELA GONCALVES PALMEIRA - CRB-216

ELANA CARMELITA MARQUES DA SILVA

AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA DE UM PROJETO PDCA IMPLEMENTADO POR EQUIPES DE MELHORIA CONTÍNUA: REDUÇÃO DO INDICADOR DE APARAS EM UMA INDÚSTRIA DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS)

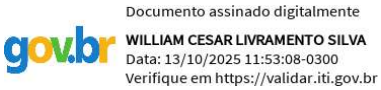
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial para a
Obtenção do grau de Bacharel em
Química Industrial.
Aprovado em: 03/10/2025

BANCA EXAMINADORA



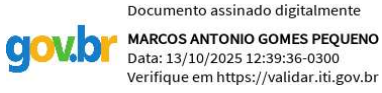
Profª Dra. Rebeca Tibau Aguiar

Orientadora – Departamento de Engenharia Química/CT/UFPB



William Cesar Livramento Silva, Doutorando - UFPB

Examinador



Dr. Marcos Antônio Gomes Pequeno - UFPB

Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de minha força e sustento, por nunca me deixar cair e por guiar cada passo desta jornada. “Tudo é dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas”. Aos meus pais, Mauricéa e Paulo, e aos meus irmãos, Etna e Ewerton, cuja presença constante, amor e apoio tornaram possível a realização deste sonho.

Ao meu namorado, Lucas, que, com paciência e carinho, esteve ao meu lado nos momentos de incerteza, oferecendo conforto e confiança. Aos meus amigos de curso, que compartilharam comigo risos, aprendizados e desafios, tornando esta caminhada mais leve e significativa.

À minha orientadora, Rebeca, pela dedicação, paciência e orientação cuidadosa, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. À minha coordenadora, Madalena, pelo ensinamento, incentivo e suporte, contribuindo para que este estudo se concretizasse com excelência.

Aos meus amigos e irmãos em Cristo que elevaram orações e pensamentos positivos em meu favor, meu profundo agradecimento.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram desta trajetória, deixo minha eterna gratidão, reconhecendo que cada gesto, apoio e palavra de encorajamento foram fundamentais para a realização deste sonho.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da metodologia PDCA (Plan, Do, Check, Act) na condução de um projeto de melhoria contínua voltado à redução do indicador de aparas em uma indústria de poliestireno extrudado (XPS). O excesso de aparas representa um problema recorrente nesse tipo de processo produtivo, uma vez que está diretamente associado ao desperdício de matéria-prima, ao aumento de custos operacionais e a impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado. O trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso no setor de termoformagem, no qual foram acompanhadas rotinas operacionais, analisados registros históricos de produção e comparado o desempenho do processo antes e após a implementação de uma solução prática: a instalação de suportes específicos para bobinas. A metodologia PDCA foi aplicada em todas as suas etapas, possibilitando o diagnóstico da causa raiz do problema, a elaboração do plano de ação, a execução das melhorias propostas, a verificação dos resultados e a padronização do novo procedimento. Os resultados evidenciaram uma redução significativa no indicador de aparas, confirmando a efetividade da intervenção. Além do impacto quantitativo na minimização de perdas, observou-se também uma mudança qualitativa no engajamento da equipe, que passou a adotar uma postura mais analítica e proativa na busca por soluções. Conclui-se que a aplicação do ciclo PDCA constituiu uma ferramenta prática, sistemática e eficiente não apenas para a obtenção de ganhos operacionais e econômicos, mas também para o fortalecimento da cultura de melhoria contínua e da sustentabilidade no ambiente produtivo.

Palavras-chave: PDCA; Melhoria Contínua; Poliestireno Extrudado (XPS); Termoformagem; Redução de Aparas.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effectiveness of the PDCA (Plan, Do, Check, Act) methodology in conducting a continuous improvement project focused on reducing the trim generation indicator in an extruded polystyrene (XPS) industry. Excessive trim represents a recurring issue in this type of production process, as it is directly associated with raw material waste, increased operational costs, and environmental impacts resulting from improper disposal. The research was carried out through a case study in the thermoforming sector, where operational routines were monitored, historical production records were analyzed, and the process performance was compared before and after the implementation of a practical solution: the installation of specific supports for reels. The PDCA methodology was applied in all its stages, enabling the identification of the root cause of the problem, the development of the action plan, the execution of the proposed improvements, the verification of the results, and the standardization of the new procedure. The results showed a significant reduction in the trim indicator, confirming the effectiveness of the intervention. In addition to the quantitative impact on loss reduction, a qualitative improvement was observed in team engagement, as employees adopted a more analytical and proactive attitude toward problem-solving. It is concluded that the application of the PDCA cycle proved to be a practical, systematic, and efficient tool not only for achieving operational and economic gains but also for strengthening the culture of continuous improvement and sustainability within the production environment.

Keywords: PDCA; Continuous Improvement; Extruded Polystyrene (XPS); Thermoforming; Trim Reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Produtos em Poliestireno Extrudado (XPS)..... 12
Figura 2: Encaixe de bobina no desbobinador..... 20
Figura 3: Lâminas reaproveitadas para fixação..... 20
Figura 4: Fluxograma do processo produtivo de poliestireno extrudado..... 22
Figura 5: Estoque de Bobinas..... 23
Figura 6: Diagrama de Ishikawa para identificação da causa raiz..... 24
Figura 7: Projeto implantado no setor de Termoformagem..... 25
Figura 8: Instrução de Trabalho do setor de Termoformagem..... 26

GRÁFICOS

Gráfico 1: Indicador de apara em 2022 e 2023..... 21
Gráfico 2: Indicador de apara em 2024 e 2025..... 27
Gráfico 3: Indicador da redução de aparas descartadas no meio ambiente..... 28
Gráfico 4: Indicador da redução de tempo de máquina parada..... 28

TABELA

Tabela 1: Plano de ação 5W2H..... 25

Sumário

1. INTRODUÇÃO 10
2. OBJETIVOS 11
2.1. OBJETIVO GERAL 11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
3. REFERENCIAL TEÓRICO 12
3.1. POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS) 12
3.2. GESTÃO DA QUALIDADE 13
3.3. CICLO PDCA 14
3.3.1. Plan (Planejar) 14
3.3.2. Do (Executar) 14
3.3.3. Check (Checar) 15
3.3.4. Act (Agir) 15
3.4. EQUIPES DE MELHORIA CONTÍNUA 16
4. METODOLOGIA 17
4.1. AMBIENTE DA PESQUISA 17
4.2. ESTUDO DE CASO 17
4.3. ETAPAS DO ESTUDO 18
4.4. PLAN (PLANEJAR) 18
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 19
5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS 19
5.2. ANÁLISE DO PROBLEMA 20
5.3. ANÁLISE DO PROCESSO 21
5.4. DO (EXECUTAR) 24
5.5. CHECK (CHECAR) 26
5.6. ACT (AGIR) 27
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 30
7. PERPECTIVAS FUTURAS 31
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

1. INTRODUÇÃO

O setor industrial, especialmente no ramo de materiais descartáveis, enfrenta desafios contínuos relacionados à redução de custos, eliminação de desperdícios e aumento da produtividade. O indicador de aparas, que mede a quantidade de material desperdiçado durante o processo produtivo, impacta diretamente os custos, a utilização eficiente da matéria-prima e a sustentabilidade do negócio (Ohno, 1997; Womack & Jones, 2003). Apesar de processos padronizados a geração de aparas ocasionalmente ultrapassava as metas, gerando prejuízos econômicos e comprometendo a competitividade.

Nesse sentido, a crescente competitividade do setor industrial exige que as empresas busquem constantemente eficiência operacional, redução de desperdícios e melhoria da qualidade dos produtos. Nesse cenário, metodologias estruturadas de melhoria contínua, como o ciclo PDCA, e ferramentas da qualidade tornam-se essenciais para identificar, analisar e solucionar problemas de forma sistemática (Ishikawa, 1985; Juran, 1999; Deming, 2000).

Em uma indústria do segmento de produtos de poliestireno expandido, localizada na grande João Pessoa, Paraíba, denominada Empresa X, as Equipes de Melhoria Contínua desenvolvem projetos voltados à otimização dos processos produtivos. Um exemplo significativo é o projeto “Suporte para Bobinas”, que tem como objetivo minimizar perdas de material, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional. Embora conduzido por uma equipe especializada, torna-se relevante avaliar a eficácia dessas ações, verificando se os resultados alcançados são mensuráveis e sustentáveis (Slack et al., 2016).

Diante desse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão: o projeto desenvolvido pela Equipe de Melhoria Contínua da Empresa X foi eficaz na redução do indicador de aparas, promovendo ganhos mensuráveis em eficiência, economia de recursos e qualidade do produto?

A relevância desta pesquisa é dupla: acadêmica, ao ampliar a compreensão sobre a aplicação prática das ferramentas da qualidade e do ciclo PDCA (Ishikawa, 1985; Deming, 2000); e prática, ao fornecer à empresa evidências concretas da efetividade do projeto, subsidiando a padronização e a replicação de boas práticas em outros setores, fortalecendo a cultura de melhoria contínua e a eficiência operacional da organização (Juran, 1999; Slack et al., 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia de um projeto de melhoria contínua desenvolvido pelas Equipes de Melhoria Contínua da Empresa X, verificando o impacto das ferramentas da qualidade e do ciclo PDCA na redução do indicador de aparas no setor produtivo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever as etapas do projeto de melhoria contínua desenvolvido pela equipe, destacando as ferramentas da qualidade utilizadas (Brainstorming, Diagrama de Ishikawa, 5W2H).
- Comparar os dados do indicador de aparas antes e após a implantação do projeto, utilizando registros operacionais e indicadores de desempenho.
- Mensurar os ganhos obtidos com a redução do indicador, considerando aspectos como diminuição de desperdício, economia financeira e redução de tempo de máquina parada.
- Analisar a contribuição das Equipes de Melhoria Contínua para a implementação e sustentação dos resultados alcançados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS)

O poliestireno extrudado (XPS) é um termoplástico obtido a partir da polimerização do estireno, um monômero derivado do petróleo. Sua estrutura molecular é composta por longas cadeias de poliestireno, que apresentam unidades repetidas do grupo vinil-aromático, conferindo ao material leveza, rigidez e boas propriedades de isolamento térmico. Diferentemente do poliestireno expandido (EPS), o XPS possui estrutura celular fechada, resultante do processo de extrusão, o que lhe garante maior resistência mecânica, menor absorção de água e uniformidade dimensional (MANO; MENDES, 2004).

O processo de extrusão do XPS consiste no aquecimento do polímero até que ele se torne fundido, seguido de sua passagem por uma rosca sem fim que comprime e direciona o material para o molde. Durante essa etapa, aditivos e agentes de expansão são incorporados, formando a espuma rígida característica do XPS. A extrusora é composta por funil de alimentação, cilindro aquecido, rosca, matriz e sistema de resfriamento, permitindo que o polímero seja conformado continuamente em chapas ou perfis de diferentes dimensões.

Após a obtenção das chapas de XPS, o processo de termoformagem possibilita a transformação desse material em embalagens descartáveis, como na Figura 1. A termoformagem consiste no aquecimento das chapas até a temperatura de amolecimento, seguida da conformação em moldes por vácuo, pressão ou compressão mecânica, e posterior resfriamento para fixar a geometria final. Esse processo é amplamente utilizado na indústria de embalagens devido à sua versatilidade e baixo custo de produção.

Figura 1: Produtos em Poliestireno Extrudado (XPS)

Fonte: Empresa X, 2023

No entanto, a termoformagem gera resíduos conhecidos como aparas**,** que correspondem às sobras de material resultantes do recorte das embalagens nos moldes. As aparas se formam pela diferença entre a área da chapa de XPS e a geometria útil da embalagem, sendo inevitáveis em maior ou menor grau. Seu acúmulo representa impactos econômicos e ambientais: do ponto de vista produtivo, aumentam o custo da matéria-prima utilizada, reduzindo o rendimento do processo; sob a ótica ambiental, seu descarte inadequado contribui para a poluição, já que o poliestireno é um material de difícil degradação.

Assim, reduzir a quantidade de aparas é fundamental tanto para otimizar os custos de produção quanto para mitigar os impactos ambientais do processo. O controle desse indicador se torna estratégico, pois a diminuição de resíduos melhora a eficiência produtiva, fortalece a sustentabilidade da empresa e atende às demandas de clientes e da sociedade por processos mais responsáveis e alinhados à preservação ambiental.

3.2. GESTÃO DA QUALIDADE

A gestão da qualidade é entendida como o conjunto de práticas que buscam assegurar que produtos e serviços atendam de forma consistente às necessidades e expectativas dos clientes. Para Deming (1990), a qualidade depende da padronização e do controle estatístico dos processos, o que permite reduzir variabilidades e alcançar melhores resultados. Juran (1990) reforça que a qualidade está diretamente relacionada à eficiência, uma vez que contribui para a redução de desperdícios e para a diminuição dos custos. Como referencial internacional, a ISO 9001:2015 estabelece requisitos essenciais para a gestão da qualidade, como orientação ao cliente, liderança, engajamento das pessoas, abordagem de processos, melhoria contínua e tomada de decisão baseada em evidências (ABNT, 2015). Dessa forma, organizações adotam seus princípios desenvolvem práticas consistentes de padronização e controle, criando bases sólidas para projetos de melhoria contínua.

Nesse contexto, a melhoria contínua surge como um desdobramento natural da gestão da qualidade, configurando-se como um processo sistemático e permanente de aperfeiçoamento das atividades organizacionais. Campos (2014) a descreve como uma filosofia de gestão voltada para resultados crescentes ao longo do tempo. Uma das metodologias mais difundidas é o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), proposto por Deming, que promove o planejamento, execução, verificação e padronização dos processos, estabelecendo um ciclo de aprendizado e evolução constante (WERKEMA, 1995). Aliado a isso, abordagens como o Kaizen e o Lean Manufacturing reforçam a busca pela eliminação de desperdícios e pela eficiência operacional (LIKER, 2004).

Para viabilizar tais práticas, as ferramentas da qualidade se consolidam como recursos fundamentais de apoio à análise e à resolução de problemas. Técnicas como o Brainstorming (OSBORN, 1953) possibilitam a geração de ideias, enquanto o Diagrama de Ishikawa, desenvolvido por Kaoru Ishikawa em 1968, facilita a identificação das causas potenciais de um problema. A metodologia dos 5 Porquês, criada por Sakichi Toyoda e amplamente aplicada no Sistema Toyota de Produção, permite chegar à causa raiz por meio de questionamentos sequenciais (OHNO, 1997). Já o 5W2H organiza de forma clara a execução das ações corretivas, enquanto o Controle Estatístico de Processos (CEP) atua no monitoramento e controle de variações (MONTGOMERY, 2016).

Assim, observa-se que gestão da qualidade, melhoria contínua e ferramentas da qualidade não se apresentam como conceitos isolados, mas como componentes integrados de uma mesma lógica organizacional. A gestão da qualidade estabelece os princípios, a melhoria contínua operacionaliza esses princípios em práticas de aperfeiçoamento constante, e as ferramentas fornecem suporte técnico para que as melhorias sejam sustentadas, garantindo maior confiabilidade, redução de custos e resultados duradouros.

3.3. CICLO PDCA

O ciclo PDCA é uma ferramenta de gestão da qualidade composta pelas etapas Plan (Planejar), Do (Executar), Check (Checar) e Act (Agir)**,** amplamente utilizada na melhoria contínua de processos (FORNARI, 2010). Seu objetivo é identificar, avaliar e resolver problemas organizacionais, promovendo maior eficiência, eficácia e satisfação do cliente (MARTINS, 1987; SILVA et al., 2018).

O PDCA tem origem nos estudos de Walter Shewhart**,** que desenvolveu o controle estatístico de processos nas décadas de 1920 e 1930. Sua popularização no Japão pós-Segunda Guerra Mundial se deu por meio de W. Edwards Deming**,** que aplicou o método para aprimorar a qualidade industrial (DEMING, 1986). Com o tempo, a metodologia se adaptou às necessidades das organizações modernas, consolidando-se como ferramenta essencial para a gestão de processos (FALCONI, 2014; CAMPOS, 2004).

Assim, o ciclo PDCA é composto pelas seguintes etapas:

- Plan (Planejamento): Consiste na identificação o problema, investigando sua causa raíz e propondo ações para eliminá-las;
- Do (Execução): Execução das ações planejadas e coleta dos seus resultados;
- Check (Verificação): Comparação dos dados coletados após realização das ações com os previstos no planejamento;
- Act (Atuação): a partir do resultado da fase anterior, existem duas possíveis atuações, em caso de atingimento da meta é realizado a padronização dos procedimentos e ações. Caso contrário, as áreas problemáticas são revisitadas com o intuito de melhorá-las. O plano de ação é revisado para futuros trabalhos, priorizando a correção das causas e assim reiniciando o ciclo. (Falconi, 2014)

3.3.1. Plan (Planejar)

O primeiro passo para a aplicação do ciclo PDCA corresponde à etapa Plan (Planejar), fase em que são definidas, de forma estratégica, as ações necessárias para a melhoria do processo, buscando garantir o alcance das metas estabelecidas. Segundo Werkema (1995), essa etapa envolve a identificação e análise detalhada do problema, o levantamento de suas causas e o planejamento das ações corretivas. Nesse sentido, foram analisados in loco o processo de produção com o objetivo de identificar os problemas existentes e levantar suas possíveis causas, fornecendo subsídios para a execução das etapas subsequentes do ciclo.

3.3.2. Do (Executar)

A segunda etapa do ciclo PDCA corresponde ao Do (Executar), momento em que as ações planejadas são colocadas em prática de forma controlada e organizada. Segundo Campos (2014), essa fase tem como finalidade a implementação das soluções propostas,

assegurando que sejam conduzidas em conformidade com o que foi definido na etapa anterior.

No presente estudo, a ação consistiu na instalação de suportes específicos para bobinas, visando a estabilidade no processo de termoformagem e a consequente redução da geração de aparas. A implementação contou com a participação conjunta da equipe de melhoria contínua e dos operadores da linha, que contribuíram tanto na adaptação quanto na validação da solução proposta. Além disso, foram elaboradas instruções de trabalho padronizadas, bem como treinamentos direcionados aos colaboradores, a fim de garantir a correta utilização do novo dispositivo.

De acordo com Werkema (1995), a execução deve ser acompanhada de registros sistemáticos, de forma a possibilitar o monitoramento dos resultados e a avaliação posterior da eficácia das ações. Nesse sentido, a empresa registrou indicadores de produção e perdas para permitir a análise comparativa após a aplicação da melhoria.

3.3.3. Check (Checar)

A terceira fase do ciclo PDCA é a Check (Verificar), em que os resultados obtidos na etapa de execução são avaliados em relação às metas estabelecidas. Para Werkema (1995), essa etapa é fundamental para verificar se as ações implementadas produziram os efeitos esperados, possibilitando ajustes e correções quando necessário.

No caso estudado, foram coletados e analisados dados de produção referentes ao período anterior e posterior à implementação do suporte para bobinas. A análise estatística demonstrou redução significativa no indicador de aparas, comprovando a efetividade da solução adotada. Além da avaliação quantitativa, também foram realizados feedbacks junto aos operadores, que relataram maior confiabilidade no processo e menor ocorrência de paradas decorrentes de falhas de alinhamento.

Segundo Campos (2014), a etapa de verificação não se limita apenas ao acompanhamento de resultados numéricos, mas também envolve a percepção dos colaboradores quanto à viabilidade e à eficácia das mudanças aplicadas. Dessa forma, a verificação cumpriu um papel central na validação da melhoria implantada.

3.3.4. Act (Agir)

A última etapa do ciclo PDCA é a Act (Agir), que consiste na padronização das melhorias implementadas e na disseminação dos aprendizados adquiridos ao longo do processo. De acordo com Werkema (1995), esta fase busca consolidar as ações bem-sucedidas, integrando-as ao sistema produtivo de forma definitiva, além de estimular a busca contínua por novas oportunidades de melhoria.

Após a comprovação da eficácia do suporte para bobinas, a empresa incorporou a solução de forma definitiva em suas instruções operacionais. Além disso, foram estabelecidos procedimentos de manutenção preventiva e inspeções periódicas do dispositivo, assegurando a sustentabilidade dos ganhos alcançados.

Conforme reforça Campos (2014), o sucesso da etapa Act está diretamente relacionado à capacidade da organização em difundir o conhecimento adquirido, promovendo o aprendizado coletivo e fortalecendo a cultura de melhoria contínua. Nesse sentido, a experiência obtida neste projeto contribuiu não apenas para a redução do desperdício de matéria-prima e dos custos associados, mas também para o engajamento da equipe produtiva, que passou a adotar uma postura mais proativa na identificação de novos pontos de melhoria.

3.4. EQUIPES DE MELHORIA CONTÍNUA

A atuação de equipes específicas voltadas para projetos de melhoria contínua constitui um diferencial competitivo para as organizações. Segundo Falconi (2014), o engajamento dos colaboradores em equipes estruturadas favorece a identificação de problemas, a proposição de soluções e o comprometimento com os resultados alcançados. No ambiente industrial, a formação de equipes multidisciplinares de melhoria contínua possibilita a integração entre diferentes áreas, promovendo aprendizado coletivo, compartilhamento de boas práticas e maior alinhamento estratégico (WERKEMA, 2011).

Essa lógica está diretamente associada à evolução histórica dos modos de produção. O taylorismo, desenvolvido por Frederick Taylor no início do século XX, priorizou a padronização das tarefas e a especialização do trabalhador, promovendo ganhos expressivos de produtividade, mas restringindo a autonomia e a criatividade dos colaboradores (TAYLOR, 1911). O fordismo, idealizado por Henry Ford, aperfeiçoou esse modelo ao introduzir a linha de montagem e a produção em massa, o que possibilitou redução de custos e ampliação do acesso a produtos, mas reforçou a rigidez dos processos e a alienação da mão de obra (FORD, 1924).

Em contrapartida, o toyotismo, desenvolvido no Japão por Taiichi Ohno, deu origem ao conceito de *lean manufacturing* ao propor maior flexibilidade produtiva, eliminação de desperdícios e envolvimento ativo dos trabalhadores na resolução de problemas (OHNO, 1997). Esse sistema rompeu com a lógica da produção em massa ao colocar o ser humano como elemento essencial para o aperfeiçoamento contínuo dos processos.

Nesse contexto, a melhoria contínua se consolida como pilar do sistema de produção enxuto (*lean*), pois, além de reduzir custos e tornar os processos mais eficientes e reprodutivos, enfatiza a qualificação e o engajamento das pessoas. Assim, as equipes de melhoria contínua reforçam a ideia de que os resultados organizacionais não dependem apenas de máquinas e métodos, mas também do potencial humano, capaz de gerar soluções sustentáveis e inovação (LIKER, 2004).

4. METODOLOGIA

4.1. AMBIENTE DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada em uma organização de grande porte do setor industrial, aqui denominada Empresa X, em função de cláusulas de sigilo estabelecidas. A Empresa X atua no segmento de embalagens plásticas flexíveis e descartáveis, fornecendo soluções para diferentes setores do mercado nacional e internacional. Por sua abrangência e representatividade, constitui-se em um ambiente propício para o desenvolvimento de estudos relacionados à gestão da qualidade e à melhoria contínua.

No contexto atual, empresas industriais enfrentam a necessidade de conciliar produtividade, eficiência e sustentabilidade, fatores que demandam práticas de gestão estruturadas e alinhadas a padrões reconhecidos internacionalmente. Segundo Paladini (2012), a gestão da qualidade é um dos pilares que possibilitam a sobrevivência e a competitividade organizacional, pois contribui para o controle de processos, a redução de falhas e a geração de valor ao cliente.

A Empresa X apresenta processos produtivos complexos, que abrangem desde a transformação de polímeros até a conversão em produtos finais, como embalagens e utensílios descartáveis. Para assegurar a confiabilidade de seus processos, adota um sistema de gestão da qualidade fundamentado em normas internacionais, o que possibilita monitorar indicadores e avaliar constantemente a performance organizacional.

Além disso, a empresa mantém equipes voltadas para a melhoria contínua, as quais utilizam ferramentas da qualidade para analisar dados, identificar causas de problemas recorrentes e propor ações corretivas e preventivas. De acordo com Campos (2014), a aplicação de tais ferramentas é essencial para a padronização de processos e para a busca de soluções que eliminem desperdícios, promovendo ganhos de produtividade e competitividade.

Dessa forma, o ambiente de pesquisa se mostra adequado por possibilitar a observação prática da aplicação de metodologias de gestão da qualidade, fornecendo subsídios relevantes para análise e discussão dos resultados obtidos neste estudo.

4.2. ESTUDO DE CASO

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), o estudo de caso caracteriza-se por uma análise intensiva e profunda de um ou poucos objetos, permitindo o conhecimento amplo e detalhado do contexto em que o fenômeno ocorre. Optou-se por essa abordagem devido à sua adequação para demonstrar, de forma prática, a aplicação das ferramentas da qualidade na resolução de problemas. Para a apresentação dos resultados, foi utilizado um fator multiplicativo, atendendo às diretrizes internas da empresa estudada.

4.3. ETAPAS DO ESTUDO

O trabalho trata-se de um estudo de caso da aplicação de um ciclo PDCA com o auxílio das ferramentas da qualidade em uma indústria de produtos derivados do Poliestireno Extrudado, com o objetivo de avaliar a eficácia sobre o uso das ferramentas de qualidade quando utilizadas por Equipes de Melhoria Contínua, para resolução de problemas dentro do processo produtivo.

4.4. PLAN (PLANEJAR)

A etapa de planejamento foi estruturada em três subetapas: Identificação do Problema, Análise do Problema e Análise do Processo. De acordo com Werkema (1995), a decomposição do planejamento em fases auxilia na compreensão das variáveis envolvidas e na definição precisa das ações corretivas. Para a execução dessas subetapas, foram empregadas ferramentas de gestão da qualidade, como o Diagrama de Causa e Efeito e Brainstorming, as quais, segundo Campos (2014), possibilitam identificar causas potenciais, priorizar problemas e direcionar esforços de forma eficaz.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS

O processo de Termoformagem, responsável pela produção de bandejas e outros artefatos derivados do poliestireno extrudado (XPS), foi identificado um aumento significativo do indicador de geração de aparas. Durante a fabricação dos produtos, o material é moldado por meio de calor e pressão, adquirindo o formato e as dimensões especificadas para cada aplicação. A termoformagem de XPS consiste em aquecer chapas ou blocos do material até torná-lo maleável, para então moldá-lo por meio de pressão aplicada pelas castanhas ou moldes. Esse processo é amplamente utilizado na indústria de embalagens devido à leveza, resistência térmica e capacidade de isolamento do XPS.

Diversos parâmetros operacionais influenciam diretamente a qualidade das peças termoformadas, incluindo: a temperatura de aquecimento, que geralmente varia entre 80 °C e 300 °C, adequada à densidade e espessura do material; o tamanho dos moldes**,** dimensionados de acordo com o formato final da embalagem, podendo de acordo com a máquina e produto a ser produzido; o tempo de permanência no aquecimento**,** que pode variar de 30 segundos a 3 minutos, suficiente para amolecer o material uniformemente; a pressão de conformação, aplicada pelo ar ou vácuo para garantir que o material preencha completamente os contornos do molde; e o resfriamento, que pode ser natural ou auxiliado por ar frio, visando manter a forma final da peça.

Um ponto crítico observado refere-se ao correto posicionamento das bobinas nas castanhas das termoformadoras. A partir de análise visual e acompanhamento das operações, verificou-se que os operadores enfrentavam dificuldades durante o encaixe das bobinas no desbobinador, especialmente no momento da acoplagem de novas bobinas. Nessas situações, a aplicação inadequada de pressão pelas castanhas ocasionava danos nos tubetes, comprometendo sua integridade estrutural e, consequentemente, gerando excesso de aparas.

Esse aumento na geração de resíduos não apenas compromete a qualidade das peças termoformadas, como também provoca desperdício de material, eleva os custos de produção e impacta negativamente a eficiência operacional e a rentabilidade do processo. Além disso, o excesso de aparas representa um desafio ambiental, visto que o XPS, embora reciclável, demanda manejo adequado para minimizar impactos ao meio ambiente.

A imagem apresentada na Figura 2 ilustra o dimensionamento do problema, evidenciando os pontos de maior ocorrência de aparas e a necessidade de intervenções para padronizar o posicionamento das bobinas, otimizar a pressão aplicada pelas castanhas e reduzir o desperdício. A implementação de medidas corretivas e preventivas nesse contexto é essencial para aumentar a produtividade, assegurar a qualidade do produto final e contribuir para a sustentabilidade do processo.

Figura 2: Encaixe de bobina no desbobinador

Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

5.2. ANÁLISE DO PROBLEMA

Nesta etapa do estudo de caso foi possível identificar os principais fatores que aumentavam o indicador de aparas e o desperdício de material, possibilitando a compreensão do problema.

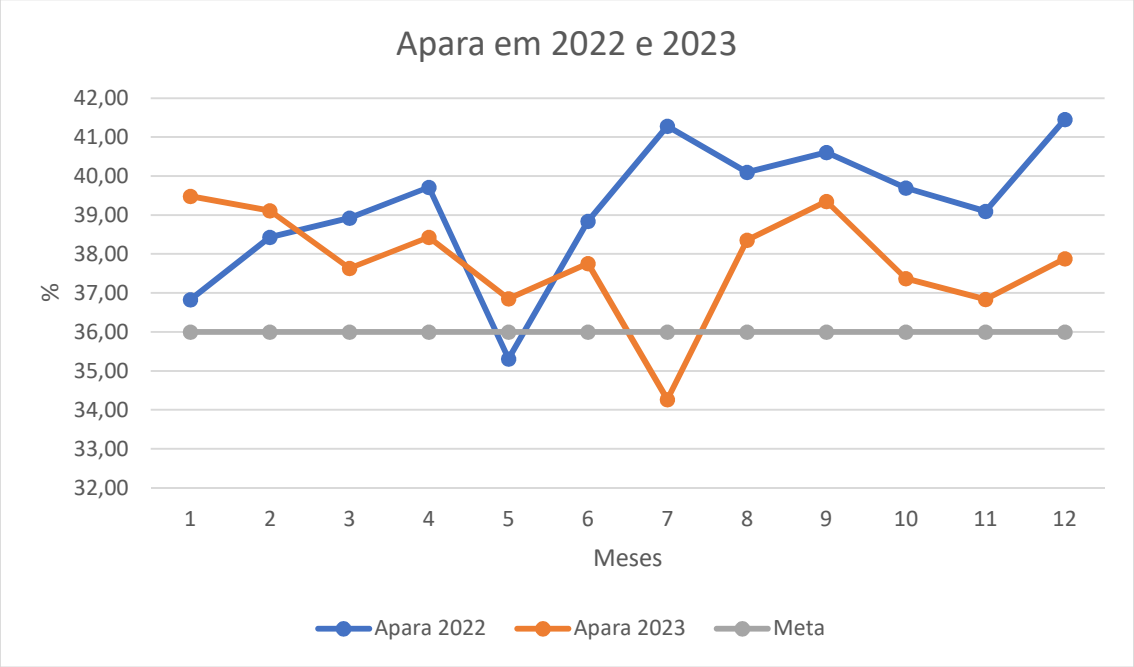
Ao avaliar o processo produtivo, foi possivel constatar que o reaproveitamento de materiais como as laminas de bobinas e papelão, como na Figura 3, ao serem utlizadas para fixação eram responsaveis por gerar mais apara devido o atrito ao girar a bobina para o processo de termoformagem dos materiais.

Figura 3: Lâminas reaproveitadas para fixação

Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

A partir disso foi avaliado o comportamento do indicador de aparas durante o ano de 2022 e 2023, anos anteriores a implementação do projeto.

Gráfico 1: Indicador de apara em 2022 e 2023



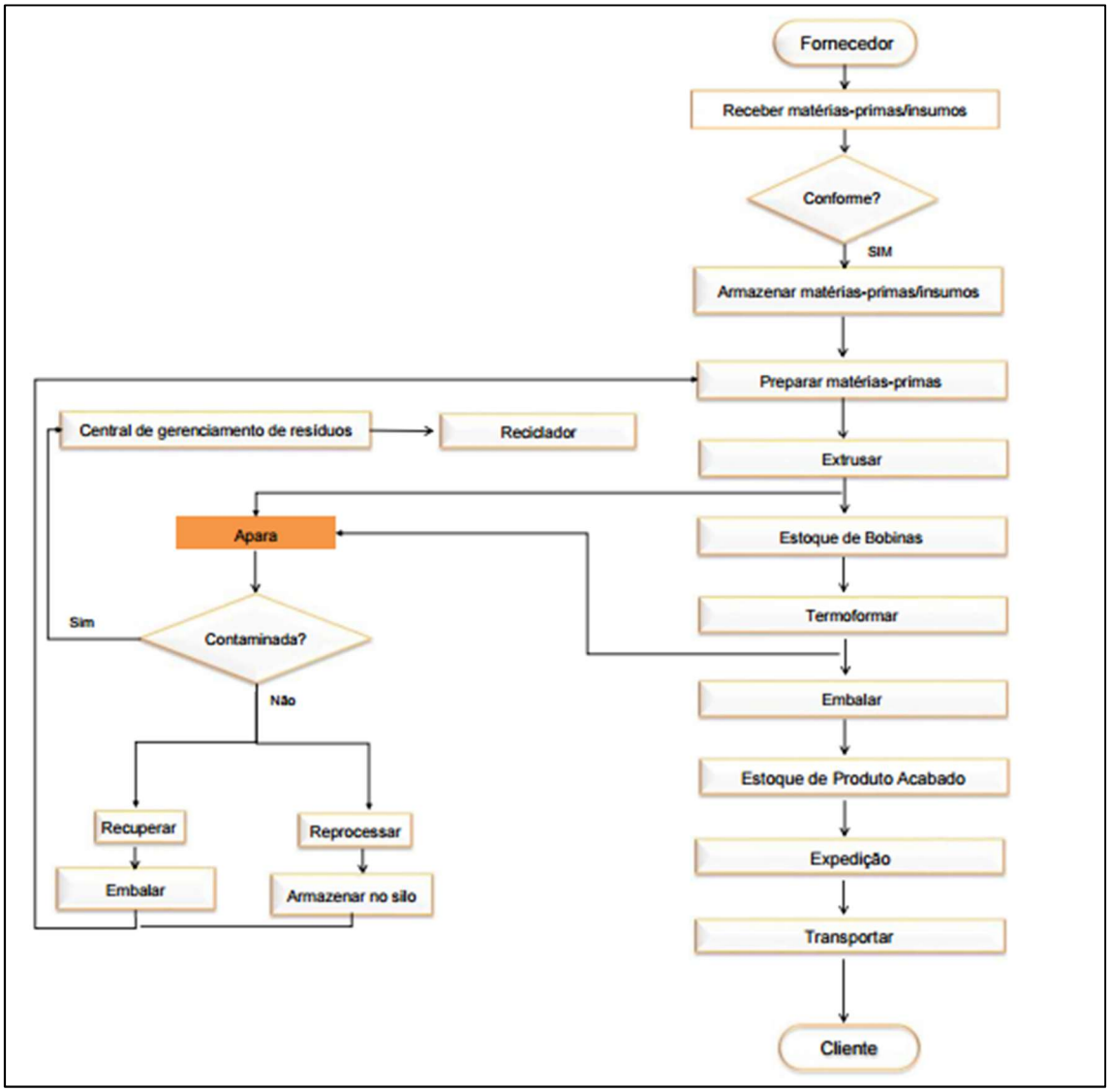
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

A partir da análise do gráfico, constatou-se que, no período anterior à implementação do projeto, nos anos de 2022 e 2023, o indicador de apara, cuja meta consiste na redução de seus valores apresentou conformidade apenas nos meses de maio (2022) e julho (2023).

5.3. ANÁLISE DO PROCESSO

Durante esta fase foi possível mapear as atividades do processo que poderiam gerar aparas para que assim fosse possível criar um plano de ação eficaz.

Figura 4: Fluxograma do processo produtivo de poliestireno extrudado



Fonte: Empresa X, 2024

O fluxograma apresentado na Figura 4, representa de forma sequencial as etapas do processo produtivo, desde o recebimento de matérias-primas e insumos provenientes dos fornecedores até a entrega do produto ao cliente. Inicialmente, as matérias-primas e insumos são recebidos e submetidos a uma verificação de conformidade. Quando aprovados, são devidamente armazenados para uso posterior.

Na sequência, ocorre a preparação das matérias-primas, seguida pelo processo de Extrusão, no qual o material é transformado em bobinas. Essas bobinas são estocadas (Figura 5) até atingirem o tempo de cura, em seguida passam para o setor de Termoformagem, na qual o material é moldado conforme as especificações do produto.

Concluída essa etapa, o produto é embalado, direcionado ao estoque de produto acabado e, posteriormente, enviado para a expedição, culminando no transporte até o cliente.

Figura 5: Estoque de Bobinas

Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

Durante determinadas etapas do processo, especialmente na Extrusão e Termoformagem há a geração de aparas, entendidas como resíduos ou sobras de material. O tratamento dessas aparas é realizado por três caminhos distintos: recuperação, que envolve posterior embalagem para destinação adequada, ou reprocessamento, em que o material é armazenado em silos para reintegração ao ciclo produtivo; e, nos casos em que as aparas estão contaminadas, o envio para a central de gerenciamento de resíduos, que as encaminha a recicladores externos para descarte ou reaproveitamento ambientalmente correto.

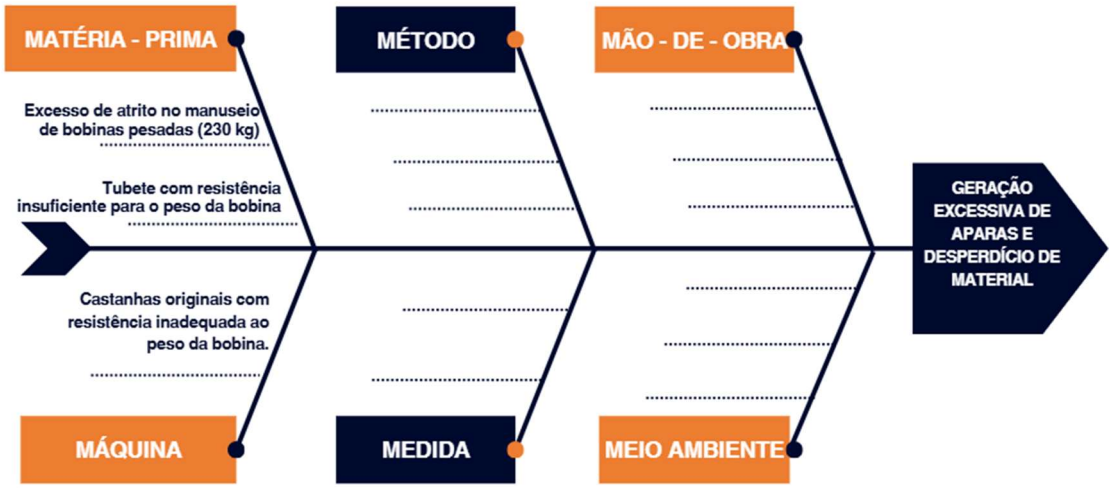
Inicialmente foram identificadas causas potenciais por meio do diagrama de Ishikawa, nesta ferramenta as falhas foram classificadas como o Defeito

Enquanto as causas potenciais foram identificadas por meio de sessões de *brainstorming* com a equipe operacional e os líderes de turno. Esse levantamento foi complementado por auditorias in loco, possibilitando a observação direta do processo e a identificação de fatores que poderiam estar contribuindo para a ocorrência do problema.

Ao relacionar essas causas com o fluxo produtivo, verificou-se que a etapa da Termoformagem era uma das principais responsáveis pela geração de aparas. Esse resíduo, quando não gerenciado de forma eficiente, impacta diretamente o indicador de apara cuja meta é manter valores reduzidos e, consequentemente, a eficiência operacional da linha. A análise evidenciou que o controle inadequado das variáveis de processo, falhas na regulagem de equipamentos e desvios na preparação das matérias-primas figuravam entre os fatores críticos que comprometiam o desempenho do indicador, reforçando a necessidade de ações corretivas e preventivas no contexto da melhoria contínua.

Assim, de acordo com as informações coletadas no fluxograma, da Figura 4, foi possível analisar de forma detalhada as causas, efeitos e consequências no processo produtivo, buscando identificar a causa raiz por meio do diagrama de Ishikawa (Figura 6). Dentre os principais fatores levantados, observou-se que o peso elevado das bobinas (cerca de 230 kg) ocasiona aumento significativo do atrito durante a movimentação, impactando diretamente a eficiência operacional e o desgaste dos equipamentos. Além disso, verificou-se que o tubete utilizado nas bobinas apresenta resistência insuficiente para suportar sua carga, o que compromete tanto a integridade do material quanto a segurança do processo. Outro ponto relevante diz respeito às castanhas originais do equipamento, as quais não possuem resistência mecânica adequada para sustentar o peso das bobinas, gerando instabilidades no processo e maior risco de falhas operacionais. Essas condições, em conjunto, evidenciam fragilidades estruturais que contribuem para recorrentes problemas no fluxo produtivo.

Figura 6: Diagrama de Ishikawa para identificação da causa raiz



Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

5.4. DO (EXECUTAR)

Após a implementação do diagrama, constatou-se que os pesos das bobinas geram maior atrito, os tubetes utilizados nas bobinas não suportam o peso das mesmas, e as castanhas originais não suportam o peso das bobinas, que estavam entre os principais fatores causadores da produção de aparas. A adoção de ações corretivas direcionadas a essas causas apresenta potencial significativo para a redução do indicador de apara e para a minimização do desperdício de material, contribuindo para a melhoria da eficiência operacional e a mitigação das perdas no processo produtivo.

Após a aplicação das ferramentas da qualidade para estratificação e análise das potenciais causas, empregou-se a metodologia 5W2H (What – O que, Who - Quem, When - Quando, Where - Onde, How - Como, Why – Por que e How much - Quanto), instrumento amplamente utilizado no gerenciamento da qualidade para detalhar e organizar a execução de planos de ação. Esse método permitiu estabelecer, de forma clara

e objetiva, as etapas necessárias para eliminar ou mitigar as causas raízes previamente identificadas, assegurando a coerência entre as ações propostas e os resultados esperados.

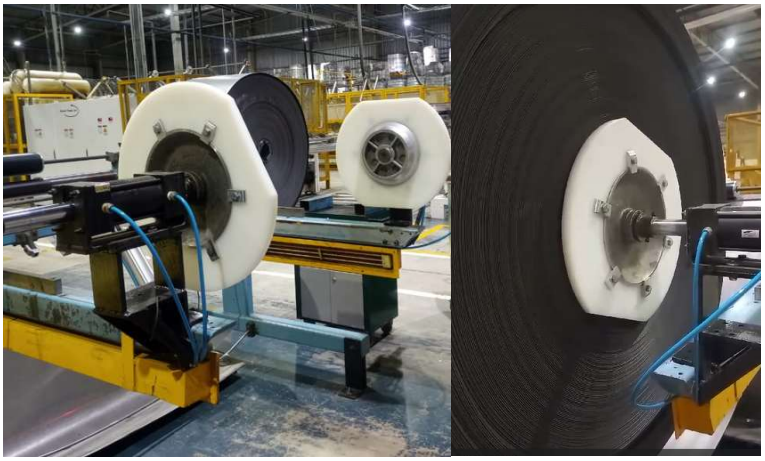
Como resultado, foram definidas duas ações corretivas e preventivas, apresentadas na Tabela 1, implementadas como demonstrado na Figura 7, cuja implementação ocorreu ao longo de três meses, em alinhamento com as fases do ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act).

Tabela 1: Plano de ação 5W2H

	5W					2H	
	O QUE	POR QUE	COMO	ONDE	QUEM	QUANTO	QUANDO
AÇÕES IMPLEMENTADAS	Teste com uso de tubo de metal	Para reforçar o tubete da bobina	Reaproveitando tubo do silo para teste na TF	Setor de termoformagem	Líderes	R$: 0,00	15/06/2024
	Fabricação e instalação de um suporte em formato de disco para bobinas	Reduzir danos aos tubetes	Projeto mecânico do suporte → Fabricação interna → Testes → Instalação final.	Setor de termoformagem	Equipe de manutenção mecânica e engenharia de processos.	R$2600	30/09/2024

Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

Figura 7: Projeto implantado no setor de Termoformagem



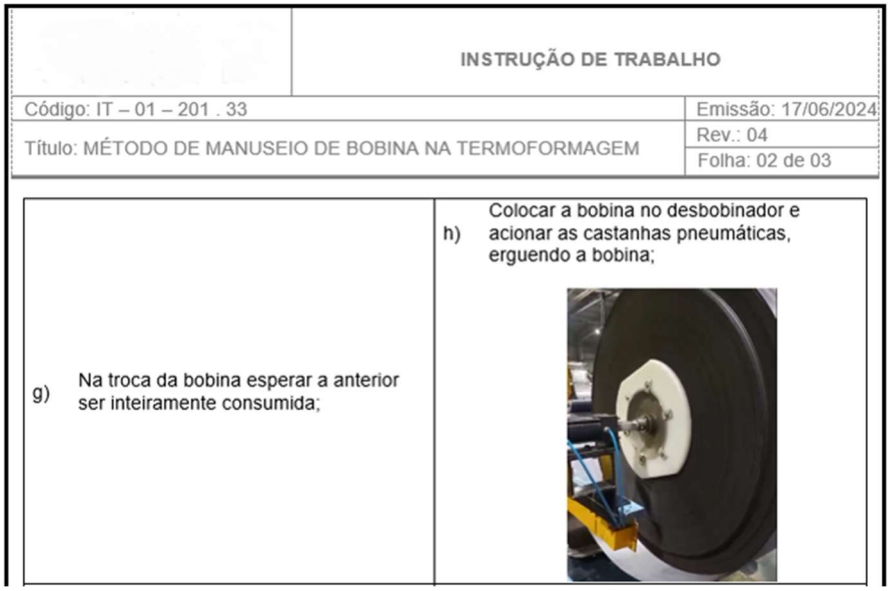
Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

A primeira ação consistiu na realização de um teste utilizando um tubo de metal como reforço para os tubetes das bobinas, com o objetivo de aumentar sua resistência estrutural, prevenindo falhas durante movimentação e transporte, e reduzindo perdas e retrabalhos. O teste utilizou material reaproveitado do silo e foi conduzido pelos líderes do setor de termoformagem, sem custos adicionais, permitindo ajustes imediatos conforme os resultados obtidos.

A segunda ação envolveu a implantação de um suporte em formato de disco, projetado para facilitar o posicionamento correto das bobinas no componente de

máquina TMB-029. O dispositivo exerce pressão lateral controlada, garantindo centralização e prevenindo danos ao tubete. O projeto incluiu desenvolvimento mecânico detalhado, fabricação interna, testes de adequação e instalação final, realizada pela equipe de manutenção mecânica e engenharia de processos, com custo estimado de R$ 2.600,00. O novo equipamento foi incorporado ao procedimento padrão do setor de termoformagem (Figura 8), assegurando sua aplicação sistemática em todas as operações relevantes. Cada ação foi atribuída a um membro da Equipe de Melhoria Contínua, assegurando rastreabilidade, comprometimento e eficácia no cumprimento dos prazos e objetivos estabelecidos.

Figura 8: Instrução de Trabalho do setor de Termoformagem

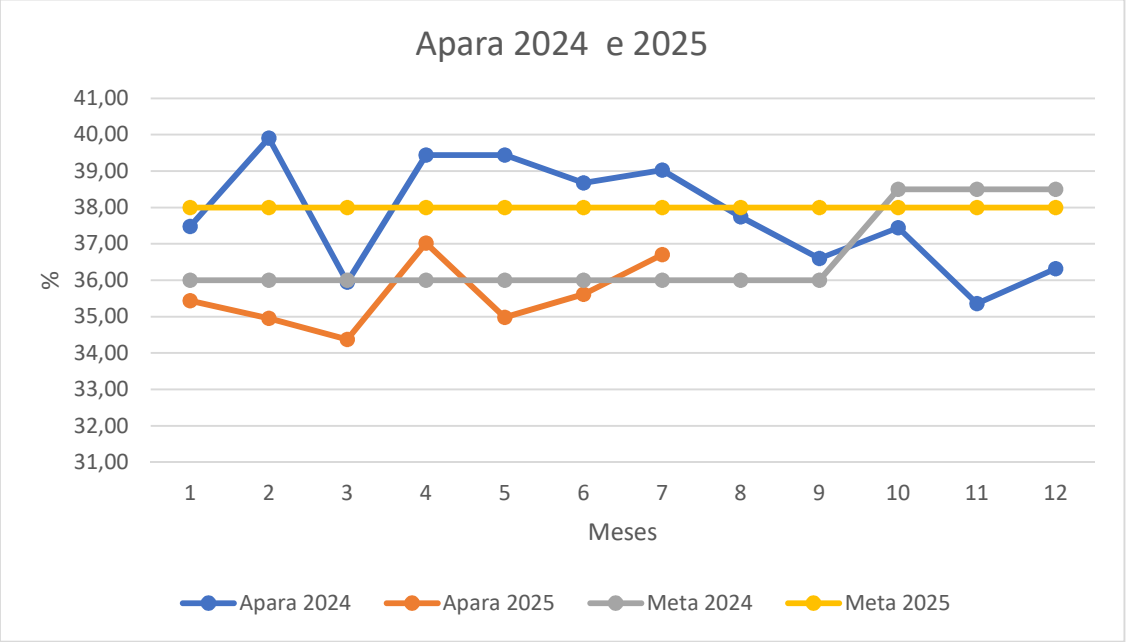


Fonte: Equipes de Melhoria Contínua, 2024

5.5. CHECK (CHECAR)

Após o período de implementação das ações estabelecidas no plano 5W2H, verificou-se, por meio da análise apresentada no Gráfico 2, uma tendência de redução no indicador de aparas. Essa diminuição foi mais expressiva nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2024, quando a geração de aparas apresentou queda contínua em comparação aos meses anteriores. Observa-se também que, antes da alteração da meta ocorrida no mês 9 em função de uma estratégia gerencial, houve uma redução significativa no indicador a partir do mês 7 (mês seguinte a implementação do projeto), evidenciando o impacto positivo das ações. Esses resultados indicam a efetividade das medidas adotadas no ciclo PDCA, demonstrando que a eliminação ou mitigação das causas raízes, identificadas por meio das ferramentas da qualidade, contribuiu diretamente para a melhoria do desempenho do processo e para a redução de desperdícios.

Gráfico 2: Indicador de apara em 2024 e 2025

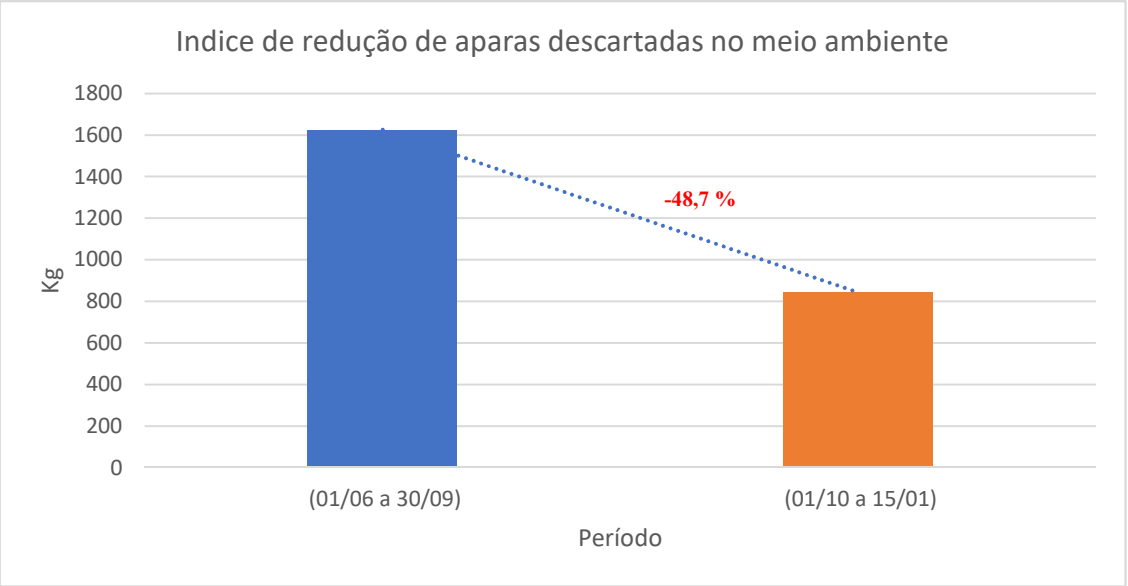


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

5.6. ACT (AGIR)

Após a implantação do projeto, os resultados obtidos foram significativamente positivos. No período de 01/06/2024 a 30/09/2024, a geração de aparas devido a problemas com tubetes totalizou 1.625,80 kg. Já no período pós-implantação, de 01/10/2024 a 15/01/2025, esse valor foi reduzido para 842,92 kg, representando uma diminuição média de 210,73 kg/mês, ou seja, 48,7% de redução. Essa redução não apenas demonstra a eficácia do projeto em termos de produtividade, mas também reflete um impacto ambiental positivo, evitando que essa quantidade significativa de aparas fosse descartada no meio ambiente, como ilustrado no Gráfico 3.

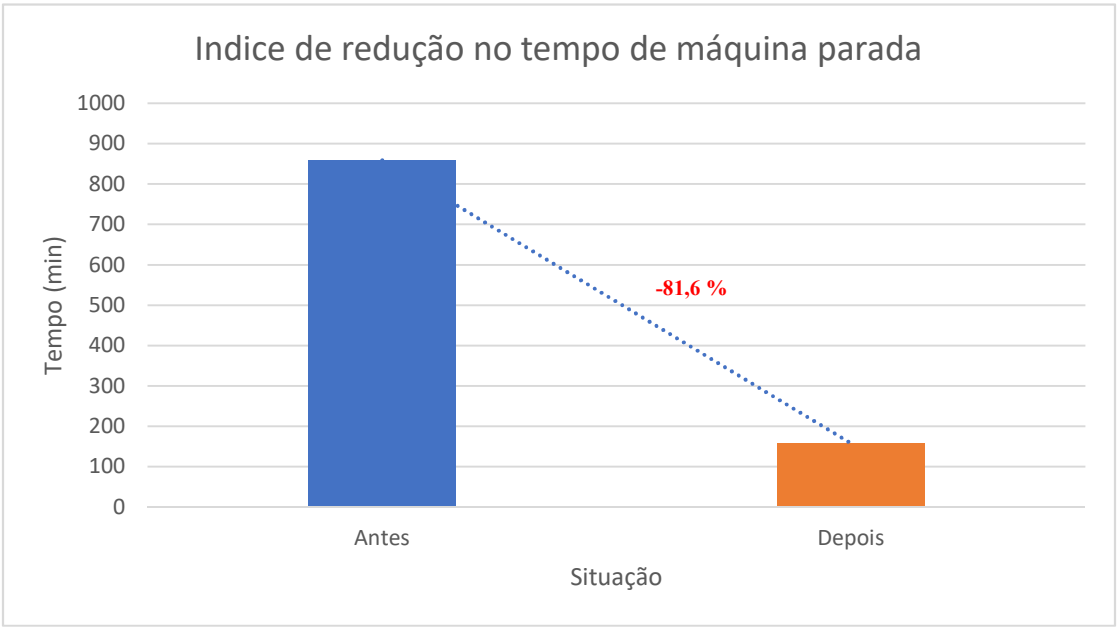
Gráfico 3: Indicador da redução de aparas descartadas no meio ambiente



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

Além da redução de material desperdiçado, observou-se também uma expressiva melhoria no tempo de máquina parada. Antes da implementação do projeto, o tempo total registrado era de 859 minutos, enquanto após a implantação caiu para 158 minutos, resultando em uma redução significativa de 81,6% como demonstrado no Gráfico 4. Esses resultados evidenciam não apenas ganhos em eficiência operacional, mas também benefícios econômicos diretos para a organização.

Gráfico 4: Indicador da redução de tempo de máquina parada



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025

A obtenção desses resultados está diretamente associada à aplicação estruturada das ferramentas da qualidade, que permitiram a identificação precisa das causas raízes, e ao uso do 5W2H para planejar e priorizar as ações necessárias. Integradas ao ciclo PDCA, essas ferramentas proporcionaram um acompanhamento sistemático das etapas de melhoria, garantindo a eficácia das intervenções e a sustentação dos resultados alcançados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados confirmam a hipótese inicial do estudo, de que a aplicação estruturada das ferramentas da qualidade, aliada ao ciclo PDCA, possibilita identificar causas raízes e implementar ações corretivas eficazes. Conforme Deming (1990), a redução da variabilidade e do desperdício depende do controle sistemático dos processos, o que foi evidenciado na prática deste estudo.

Outro aspecto relevante é que as melhorias foram alcançadas por meio de ferramentas simples e de baixo custo, como o *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa, e o 5W2H. Werkema (1995) afirma que a eficácia das ferramentas da qualidade está justamente na sua aplicabilidade prática e na capacidade de mobilizar equipes em torno da resolução de problemas. No presente caso, a atuação das Equipes de Melhoria Contínua foi decisiva para o levantamento de causas, priorização de ações e sustentação dos resultados.

Os ganhos obtidos também dialogam com a literatura sobre Lean Manufacturing e Kaizen, que destacam a importância da eliminação de desperdícios como meio de aumentar a competitividade (LIKER, 2004). A redução de aparas não apenas gerou impacto financeiro positivo, mas também reforçou a sustentabilidade do processo, uma vez que menos matéria-prima foi descartada. Isso está em conformidade com Campos (2014), que defende a melhoria contínua como pilar para a qualidade total e para a busca de resultados sustentáveis.

Além disso, o fortalecimento da cultura organizacional também merece destaque. Falconi (2014) ressalta que a melhoria contínua só é efetiva quando envolve as pessoas e promove o aprendizado coletivo. No caso estudado, a participação dos colaboradores foi fundamental para o êxito das ações, o que reforça o papel das Equipes de Melhoria Contínua como agentes de transformação.

Entretanto, é importante ressaltar algumas limitações do estudo. Os dados analisados referem-se a um período específico (2022–2023 para histórico e 2024–2025 para resultados), de modo que a sustentabilidade a longo prazo das melhorias precisa ser acompanhada pela empresa.

Ainda assim, o trabalho evidencia que a aplicação prática das ferramentas da qualidade e do ciclo PDCA é eficaz na redução de desperdícios e no aumento da eficiência produtiva, em consonância com a literatura da área. Isso indica que a metodologia pode ser replicada em outros processos e setores da empresa, contribuindo para o fortalecimento de sua estratégia de gestão da qualidade.

A principal contribuição deste trabalho é mostrar, de forma prática e aplicada, como a gestão da qualidade pode gerar impactos econômicos e operacionais mensuráveis no ambiente industrial.

Assim, conclui-se que o projeto estudado foi eficaz na redução do indicador de aparas, representando um exemplo concreto de como a melhoria contínua, aliada ao uso de ferramentas da qualidade, pode transformar processos produtivos, reduzir desperdícios e fortalecer a competitividade industrial.

7. PERPECTIVAS FUTURAS

Como recomendações para pesquisas futuras, sugere-se:

- A replicação da metodologia em outros indicadores de desempenho (como eficiência de máquina, consumo energético e índices de retrabalho);
- A aplicação em diferentes setores da empresa, permitindo a comparação entre áreas produtivas;
- E a análise da sustentabilidade dos resultados em longo prazo, investigando como a cultura de melhoria contínua pode ser consolidada.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2015 – Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 9. ed. Belo Horizonte: Falconi Editora, 2014.

CAMPOS, Vicente Falconi. Qualidade total: padronização e melhoria contínua de processos. Nova Lima: Falconi, 2004.

DEMING, W. Edwards. Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DEMING, W. Edwards. Out of the Crisis. Cambridge: MIT Press, 1986.

FALCONI, Vicente. O verdadeiro poder. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

FORD, Henry. Minha vida e minha obra. São Paulo: Saraiva, 1924.

FORNARI, José. PDCA: metodologia para melhoria contínua. São Paulo: Atlas, 2010.

ISHIKAWA, Kaoru. What is Total Quality Control? The Japanese Way. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1985.

JURAN, J. M. Juran na liderança pela qualidade. São Paulo: Pioneira, 1990.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LIKER, Jeffrey K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2004.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luiz Claudio. Polímeros: ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2004.

MARTINS, Petrônio G. Administração da produção. São Paulo: Saraiva, 1987.

MONTGOMERY, Douglas C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

OHNO, Taiichi. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OSBORN, Alex F. Applied imagination: principles and procedures of creative problem-solving. New York: Scribner, 1953.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da qualidade: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

SILVA, Edson P.; LIMA, José A.; OLIVEIRA, Renata M. Gestão da qualidade e produtividade. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

TAYLOR, Frederick Winslow. Princípios da administração científica. São Paulo: Atlas, 1911.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni/UFMG, 1995.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. A máquina que mudou o mundo. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.