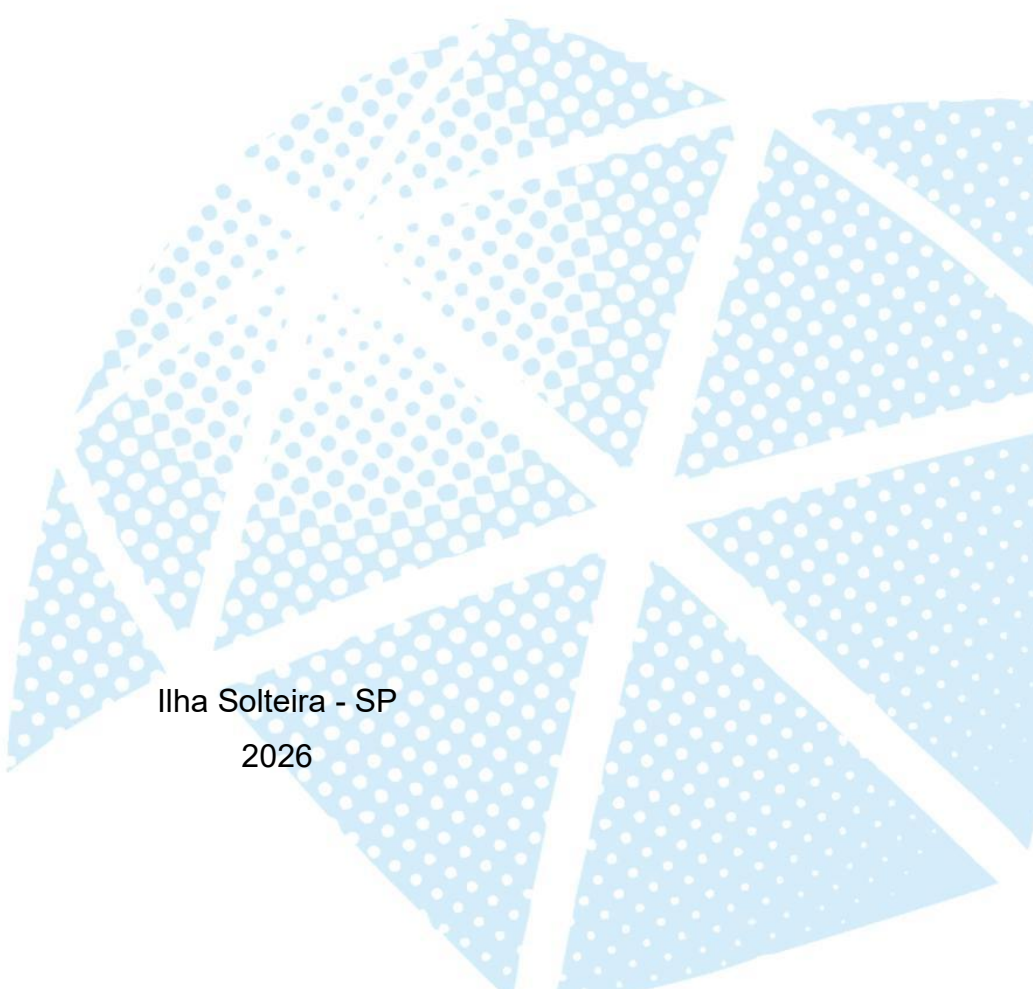


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

HIGOR BALSARINI

**MELHORIA NOS PROCESSOS DE PLISSAGEM, REDUZINDO O REFUGO DE
PAPEL GERADO NA PRODUÇÃO DE FILTROS DE COMBUSTÍVEL.**



Ilha Solteira - SP
2026

HIGOR BALSARINI

**MELHORIA NOS PROCESSOS DE PLISSAGEM, REDUZINDO O REFUGO DE
PAPEL GERADO NA PRODUÇÃO DE FILTROS DE COMBUSTÍVEL.**

Trabalho de Graduação apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Ilha Solteira, para obtenção do título de
Grau acadêmico de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcio Antonio
Bazani

Ilha Solteira - SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B196m Balsarini, Higor.
Melhoria nos processos de plissagem, reduzindo o refugo de papel gerado na produção de filtros de combustível / Higor Balsarini. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
34 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Marcio Antonio Bazani

Inclui bibliografia

1. Otimização. 2. Redução de custos. 3. Indústria automotiva. 4. SMED. 5. 5S.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O presente trabalho apresenta potencial impacto econômico, operacional e ambiental, uma vez que a redução do refugo de papel filtrante contribui para a diminuição dos custos de produção, aumento da eficiência do processo de plissagem e redução da geração de resíduos industriais. Além disso, as melhorias implementadas promovem maior estabilidade e padronização do processo produtivo, fortalecendo a cultura de melhoria contínua e possibilitando a replicação da metodologia em outras linhas de produção da organização.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This work presents potential economic, operational and environmental impact, since reducing filter paper waste contributes to lower production costs, increased efficiency of the pleating process and reduction in industrial waste generation. Furthermore, the improvements implemented promote greater stability and standardization of the production process, strengthening the culture of continuous improvement and enabling the replication of the methodology in other assembly line of the organization.

ATA DE DEFESA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

TÍTULO: MELHORIA NOS PROCESSOS DE PLISSAGEM, REDUZINDO O REFUGO DE PAPEL GERADO NA PRODUÇÃO DE FILTROS DE COMBUSTÍVEL.

ALUNO: Higor Balsarini **RA:** 182055302

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antonio Bazani

Aprovado (X) – Reprovado () pela Comissão Examinadora

Nota obtida: 7,5

Comissão Examinadora:

Professor	 Documento assinado digitalmente MARCIO ANTONIO BAZANI Data: 05/06/2026 11:28:03-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
	<i>Presidente (Orientador)</i>
Doutoranda	 Documento assinado digitalmente LETICIA KAROLAYNE MOREIRA FIRMO Data: 04/06/2026 12:11:23-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
	Documento assinado digitalmente
	 CARLINEIA MARCIANA DOS SANTOS PEREIRA Data: 03/06/2026 16:18:43-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Douturanda	Documento assinado digitalmente
	 HIGOR BALSARINI Data: 03/06/2026 13:14:45-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Assinatura do Aluno

Ilha Solteira (SP) 01 de junho de 2026.

Dedico este trabalho aos meus pais, pela base de tudo.
À minha esposa, pelo amor e parceria. E ao nosso filho,
Lorenzo, que está a caminho, para que um dia saiba que
cada esforço meu sempre foi para preparar o seu mundo.

AGRADECIMENTOS

À banca avaliadora, composta por Carlinéia Pereira, Letícia Firmo e pelo Professor Dr. Marcio Antonio Bazani, expresso minha sincera gratidão pela disponibilidade, pelas contribuições e pelo tempo dedicado à avaliação deste trabalho. Em especial, agradeço ao Professor Dr. Marcio Antonio Bazani pela orientação, apoio e compartilhamento de conhecimentos ao longo de toda a elaboração deste projeto.

Agradeço também a toda a equipe da empresa em que realizei meu estágio, pelo suporte técnico e pelos recursos disponibilizados, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para a execução das atividades necessárias à sua concretização.

“As universidades serão o que são suas bibliotecas”
(Gelfand, 1968, p. 19, tradução nossa)

RESUMO

O presente trabalho aborda a plissagem como um processo de acabamento aplicado a filtros automotivos, caracterizado pela criação de pregas geométricas com funções estéticas e funcionais. A técnica, que se beneficia de propriedades de fibras termoplásticas, pode ser realizada por métodos manuais ou mecanizados e demanda rigor na avaliação de qualidade, especialmente em termos de retenção de vincos. O estudo foca na otimização do processo de plissagem na linha do Forno, visando reduzir variabilidades, melhorar a produtividade e garantir a qualidade do produto final. Os objetivos gerais incluem o desenvolvimento de melhorias que permitam a padronização do processo, a redução do tempo de *setup* e da quantidade de material refogado durante a produção. A metodologia empregada abrange a caracterização do processo atual, diagnóstico de perdas e implementação de ações de melhoria, utilizando ferramentas como SMED e 5S. Os resultados obtidos demonstraram uma redução significativa no tempo de *setup* de 45 para 30 minutos, além de uma diminuição média de 29,89% na massa refogada. Esses avanços sugerem uma melhora sustentável no processo, apesar de alguns desafios remanescentes. A análise econômica apontou um *saving* mensal e um *payback* de um mês, evidenciando a viabilidade das melhorias implantadas. Assim, o trabalho não só conseguiu otimizar o processo de plissagem, mas também ofereceu diretrizes para replicação futura em outras linhas produtivas, destacando a importância da governança contínua para a manutenção dos ganhos obtidos.

Palavras-chave: Otimização; Redução de custos; Indústria automotiva; SMED; 5S.

ABSTRACT

This present work discusses pleating as a finishing process applied to automotive filters, characterized by the creation of geometric pleats with aesthetic and functional purposes. The technique, which benefits from the properties of thermoplastic fibers, can be performed using manual or mechanized methods and demands rigor in quality assessment, especially in terms of crease retention. The study focuses on optimizing the pleating process on the furnace line, aiming to reduce variability, improve productivity and ensure the quality of the final product. The general objectives include the development of improvements that enable the standardization of the process, the reduction of setup time and the amount of scrap material during production. The applied methodology encompasses the characterization of the current process, diagnosis of losses and implementation of improvement actions, using tools such as SMED and 5S. The results obtained demonstrated a significant reduction in setup time from 45 to 30 minutes, in addition to an average reduction of 29.89% in rejected mass. These advances suggest a sustainable improvement in the process, despite some remaining challenges. The economic analysis indicated monthly savings and a one-month payback, demonstrating the viability of the implemented improvements. Thus, the work not only managed to optimize the pleating process, but also provided guidelines for future replication on other production lines, highlighting the importance of continuous governance for maintaining the gains achieved.

Keywords: Optimization; Cost reduction; Automotive industry; SMED; 5S.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DO MEIO FILTRANTE NO INTERIOR DE UM FILTRO.	17
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PLISSAGEM NA LINHA DO FORNO.	19
FIGURA 3 - GRÁFICO DA QUANTIDADE DE REFUGO GERADO, EM KG, POR PRODUTO.....	20
FIGURA 4 - GRÁFICO DA QUANTIDADE DE REFUGO GERADO, EM KG, POR MÊS.....	25
FIGURA 5 - DETALHAMENTO DE DANOS ÀS BOBINAS E VOLUME DE REFUGO GERADO.	26
FIGURA 6 - CARTAS DE MONITORAMENTO DA PRÉ E PÓS IMPLEMENTAÇÃO.....	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PLANO DE COLETA DE DADOS.....	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMED	<i>Single-Minute Exchange of Die</i> (Troca rápida de ferramenta)
5S	Programa de organização e melhoria contínua baseada nos 5 sentidos.
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador-Chave de Desempenho)
Lean	Filosofia de gestão enxuta (<i>Lean Manufacturing</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

CP	Custo total do projeto
HH	Valor de hora-homem
HM	Valor de hora-máquina
CA	Custos de ajustes mecânicos
CE	Custos extras
VE _m	Valor economizado mensalmente
VM	Valor médio da mídia filtrante
C _n	Custo de compra da n-ésima mídia considerada
N	Número da compra (n=1, 2, 3, ..., 10)
VE _a	Valor economizado anualmente
PB	<i>Payback</i> (indicativo de retorno do valor investido)
kg	Quilograma(s)
min	Minuto(s)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3	OBJETIVO	18
3.1	OBJETIVO GERAL.....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO E AMBIENTE DE APLICAÇÃO	19
4.2	EQUIPE, DIAGNÓSTICO DO PROCESSO E ANÁLISE DE CAUSA.....	20
4.3	DEFINIÇÕES DE ESCOPO, LINHA PILOTO E INDICADORES.....	20
4.4	PLANO DE COLETA DE DADOS	21
4.5	MÉTODOS, IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES E CONTROLE DE EXECUÇÃO	22
4.6	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DE IMPACTO ECONÔMICO.....	22
4.7	CRITÉRIOS DE REPLICABILIDADE, ESCALONAMENTO E LIMITAÇÕES OPERACIONAIS	23
5	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO.....	25
6	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A competitividade industrial contemporânea exige que as organizações busquem continuamente a otimização de seus processos produtivos, visando aumentar a produtividade, reduzir custos operacionais e minimizar desperdícios. Nesse contexto, a aplicação de metodologias de melhoria contínua tem se mostrado fundamental para elevar a eficiência dos sistemas de manufatura, especialmente em processos que apresentam elevada variabilidade operacional e significativa geração de perdas.

Na indústria automotiva, os elementos filtrantes desempenham papel essencial na proteção dos sistemas de alimentação dos motores, sendo responsáveis pela retenção de partículas e contaminantes presentes no combustível. A eficiência desses componentes está diretamente relacionada às características da mídia filtrante utilizada e à qualidade do processo de fabricação empregado. Dentre as etapas produtivas, a plissagem destaca-se por ser responsável pela conformação geométrica do meio filtrante, influenciando diretamente a área efetiva de filtração, a perda de carga e, conseqüentemente, o desempenho do produto final.

Apesar de sua importância, o processo de plissagem pode apresentar diversas fontes de variabilidade, decorrentes de fatores relacionados ao método de trabalho, condições dos equipamentos, organização do ambiente produtivo e procedimentos de setup. Tais fatores podem resultar no aumento do tempo de preparação das máquinas, geração excessiva de refugo e redução da estabilidade operacional, impactando negativamente os custos produtivos e a eficiência do processo.

No ambiente industrial estudado, verificou-se elevada geração de refugo de papel filtrante durante as atividades de setup na linha de produção de filtros de combustível, evidenciando a necessidade de investigação das causas associadas a essas perdas e da proposição de ações corretivas e preventivas capazes de aumentar a eficiência operacional. Diante desse cenário, torna-se relevante o emprego de ferramentas de melhoria contínua, tais como os princípios do Single-Minute Exchange of Die (SMED), práticas de 5S, padronização operacional e intervenções técnicas nos equipamentos, visando reduzir desperdícios e promover maior estabilidade ao processo.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar uma proposta de melhoria para o processo de plissagem na linha do Forno, por meio do diagnóstico do estado atual, identificação das principais causas de perdas e

implementação de ações de melhoria voltadas à redução do tempo de setup e da quantidade de refugo gerado. Espera-se que os resultados obtidos contribuam não apenas para a melhoria do desempenho operacional da linha estudada, mas também sirvam como referência para a replicação da metodologia em outros processos produtivos com características semelhantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A mídia filtrante utilizada em filtros de combustíveis desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade do combustível fornecido aos sistemas de alimentação de motores, atuando na retenção de partículas sólidas, impurezas e contaminantes que podem comprometer o desempenho e a vida útil dos componentes mecânicos. Esses elementos filtrantes são desenvolvidos a partir de diferentes materiais, como celulose, fibras sintéticas e compósitos, escolhidos de acordo com as exigências de eficiência de filtração, resistência química e durabilidade operacional. Além disso, a eficiência da mídia filtrante está diretamente relacionada à capacidade de retenção de contaminantes sem causar restrições excessivas ao fluxo do combustível, assegurando o correto funcionamento do sistema.

Portanto, na indústria automotiva, a plissagem de meios filtrantes é uma etapa essencial para a fabricação de elementos capazes de combinar elevada área de filtração com dimensões compatíveis com as restrições de projeto dos sistemas de admissão e de tratamento de ar [1,2]. A geometria formada nessa operação influencia diretamente o desempenho funcional do filtro, pois afeta o escoamento entre as pregas, a distribuição de velocidade e a perda de carga ao longo da vida útil do componente. Por isso, a qualidade da plissagem não deve ser entendida apenas como requisito dimensional, mas como fator determinante para a eficiência e a confiabilidade do produto final [1,2].

Além da sua importância para o desempenho do elemento filtrante, a plissagem também representa um problema relevante de engenharia de manufatura. Em ambiente industrial, variações no ajuste da máquina, na preparação do material, na sequência operacional e nas condições de organização do posto de trabalho tendem a elevar o tempo de *setup* e a quantidade de refugo gerado durante trocas de produção [3-6]. Quando esse processo ocorre sem padronização suficiente, aumentam as intervenções corretivas, a variabilidade entre lotes e os desperdícios de material, com impactos diretos em custo, produtividade e estabilidade operacional [1,2].

O problema investigado envolve a necessidade de compreender o estado atual da operação, identificar causas de variabilidade e propor melhorias capazes de tornar a execução mais estável, econômica e reprodutível. Assim, o estudo não se limita à descrição técnica da plissagem, mas busca analisar como o processo é realizado na

prática industrial e de que forma sua organização interfere nos resultados de *setup* e refugo [3]. Diante desse contexto, este trabalho concentra-se na linha do Forno, responsável por produzir os filtros de combustível, como exemplificado na Figura 1, e selecionada por apresentar criticidade de perdas no processo de plissagem.

Figura 1 - Representação do meio filtrante no interior de um filtro.



Fonte: [7]

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa foi estruturada como um projeto aplicado de melhoria de processo, com comparação entre cenários pré e pós-implementação. A condução do estudo combinou observações de campo, análise de dados históricos, monitoramento de indicadores, revisão de instruções de trabalho e uso de ferramentas de melhoria, como princípios de SMED, práticas de 5S e intervenções técnicas na linha [3,6].

Assim, esta introdução fundamenta a plissagem de membranas ou meios filtrantes como um problema de engenharia de manufatura com efeitos diretos no desempenho do produto final e na eficiência do sistema produtivo. A justificativa do trabalho reside na necessidade de reduzir tempo de *setup* e refugo por meio de padronização e controle de processo, com potencial de ganho técnico, econômico e de replicabilidade para outras linhas industriais [3, 6].

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e validar uma proposta de melhoria do processo de plissagem na linha do Forno, por meio do levantamento do estado atual, da identificação de causas de perdas e da implementação de ações de padronização operacional, visando reduzir o tempo de *setup* e a quantidade de refugo de elementos filtrantes [3].

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear o processo atual de plissagem e caracterizar os principais modos de perda no setup, com base em dados históricos de refugo e observações de campo na linha piloto.
- Estruturar um plano de coleta e monitoramento de dados para comparar os cenários pré e pós-implementação, incluindo tempo de setup (min), refugo no setup (kg) e verificações de armazenagem/documentação de apoio.
- Identificar causas-raiz da variabilidade do processo e propor contramedidas técnicas e organizacionais (SMED, revisão de instruções de trabalho, melhorias mecânicas e práticas de 5S).
- Implementar e validar ações de melhoria com foco nos KPIs do projeto: padronização do tempo médio de setup para 30 minutos e redução de 50% do consumo de material no setup.
- Quantificar os resultados operacionais e econômicos das melhorias, verificando redução média de refugo, impacto em produtividade, saving mensal/anual e payback do projeto.
- Consolidar diretrizes para replicação das melhorias em outras linhas de plissagem com contexto produtivo equivalente.

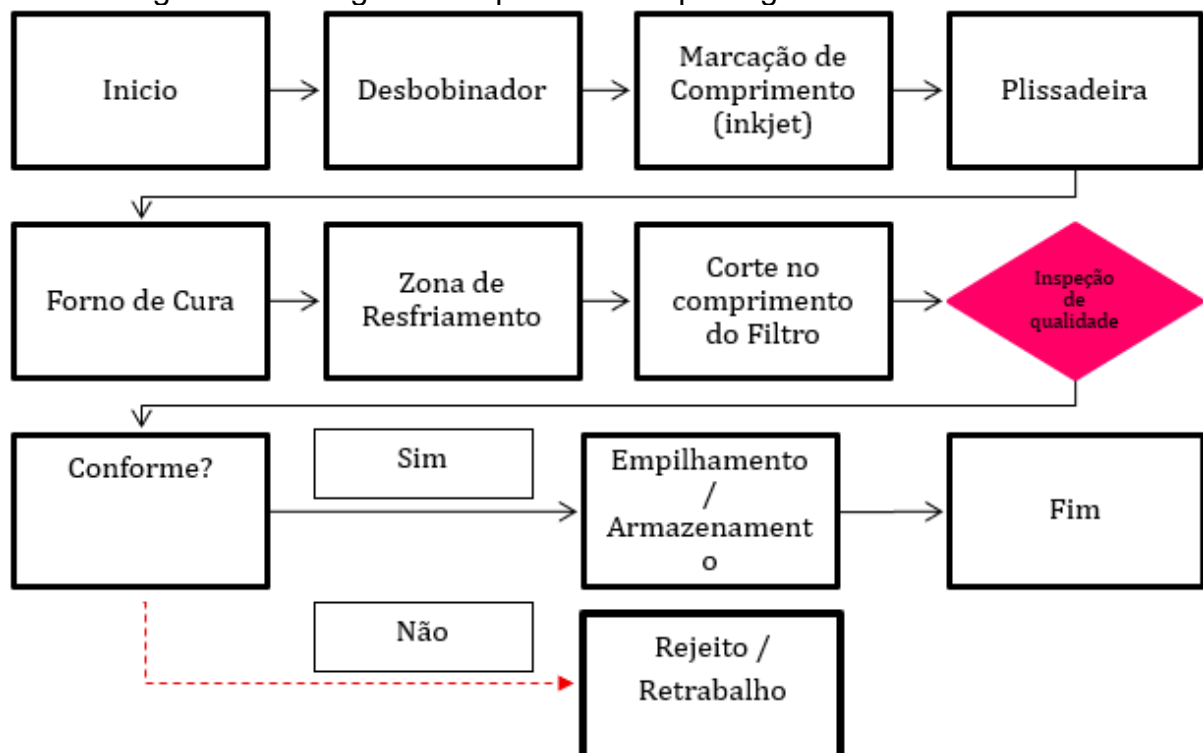
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO E AMBIENTE DE APLICAÇÃO

O estudo foi conduzido como um projeto aplicado de melhoria de processo, com abordagem pré e pós-implementação, na linha do Forno (linha piloto) de manufatura de elementos filtrantes. O foco metodológico foi a redução do tempo de *setup* e da massa de material refugado durante trocas de produção no processo de plissagem [3].

Por sua vez, o processo de plissagem pode ser sintetizado por meio de um fluxograma, que apresenta de forma sequencial as etapas necessárias para a obtenção do produto. Tal representação permite uma visualização mais clara do fluxo produtivo e das operações envolvidas ao longo do processo, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do processo de plissagem na linha do Forno.



Fonte: Próprio autor, 2025.

4.2 EQUIPE, DIAGNÓSTICO DO PROCESSO E ANÁLISE DE CAUSA

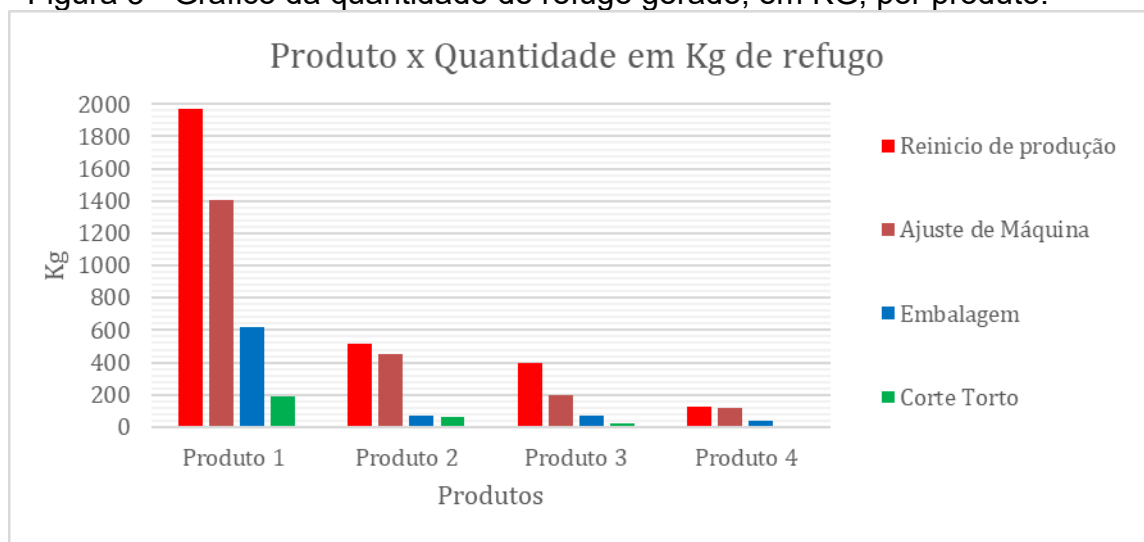
A condução do trabalho foi realizada por equipe multidisciplinar formada por integrantes das áreas de qualidade e melhoria contínua, com apoio de manutenção, logística, compras e operação. As atividades foram distribuídas por responsáveis, com acompanhamento por cronograma semanal e marcos de execução definidos para as fases de diagnóstico, implementação e validação.

Já para o diagnóstico foi realizado por observação direta do processo, análise histórica de perdas e avaliação de estabilidade por cartas de monitoramento. Essa etapa evidenciou alta variabilidade inicial e ocorrência de outliers de refugo, o que orientou a priorização das causas associadas a padronização insuficiente de *setup*, condições mecânicas de equipamentos e organização de materiais na linha.

4.3 DEFINIÇÕES DE ESCOPO, LINHA PILOTO E INDICADORES

Na etapa inicial, foi definida a linha com maior relevância de perdas por refugo para priorização do piloto, como pode ser observado na Figura 3. Definida a linha com maior relevância para atuação, foi preciso definir ainda o motivo no qual possui a maior geração de refugo, para assim ser possível ter um foco maior nos itens de maior relevância.

Figura 3 - Gráfico da quantidade de refugo gerado, em KG, por produto.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Em seguida, foram estabelecidos os indicadores-chave de desempenho (KPIs): (i) tempo de *setup* e (ii) consumo de material no *setup* (refugo), com metas de padronização do *setup* para 30 minutos e redução de 50% do consumo de material nessa etapa.

4.4 PLANO DE COLETA DE DADOS

Foi estruturado um plano formal de coleta para comparação entre os cenários pré e pós-implementação. As variáveis monitoradas incluíram: tempo de *setup* (min), quantidade de material refugado durante o *setup* (kg), verificação das condições de armazenagem da matéria-prima e validação dos documentos de apoio na linha. As medições foram realizadas a cada *setup* e por meio de rotinas de GEMBA, caracterizadas pela observação direta do processo no local de execução das atividades. O acompanhamento ocorreu de forma contínua ao longo das semanas definidas no projeto, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Plano de coleta de dados.

Variáveis	Responsável pela Coleta	Forma de medição	Unidade de Medida	Frequência Amostral	Quantidade Amostral	Tempo necessário	Tipo de Dado
Tempo de <i>setup</i> pré implementação	Equipe	SMED	Minutos	Por <i>setup</i>	10	6 semanas	Contínuo
Tempo de <i>setup</i> pós implementação	Equipe	SMED	Minutos	Por <i>setup</i>	6	5 semanas	Contínuo
Quantidade refugada no <i>setup</i> pré implementação	Equipe	SMED	Quilograma	Por <i>setup</i>	10	6 semanas	Contínuo
Quantidade refugada no <i>setup</i> pós implementação	Equipe	SMED	Quilograma	Por <i>setup</i>	6	5 semanas	Contínuo
Verificação de Armazenagem de matéria prima	Equipe	GEMBA	-	Por GEMBA	8	6 semanas	Contínuo
Verificação e validação de documentos de apoio nas linhas	Equipe	GEMBA	-	Por GEMBA	2	6 semanas	Contínuo

Fonte: Próprio autor, 2025.

4.5 MÉTODOS, IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES E CONTROLE DE EXECUÇÃO

Foram empregados princípios do SMED para redução e padronização do tempo de *setup*, juntamente com revisão de instruções de trabalho, ações de 5S e intervenções técnicas na linha (incluindo ajustes de componentes e propostas de retrofit). Também foram conduzidas ações de padronização de armazenamento de bobinas e de sequência operacional para reduzir variações durante a preparação de máquina.

As ações foram implementadas de forma progressiva, conforme plano de tarefas com responsáveis e prazos. Parte das melhorias foi concluída dentro do ciclo principal do projeto, enquanto ações estruturais adicionais foram registradas para continuidade após o encerramento do período inicial, mantendo rastreabilidade entre ações concluídas e pendentes.

4.6 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE DE IMPACTO ECONÔMICO

A validação foi efetuada por comparação dos indicadores antes e depois da implementação, com acompanhamento mensal da massa refugada e do tempo médio de *setup*. Os resultados foram analisados pela tendência de redução, pelo comportamento das cartas de monitoramento e pelo atendimento das metas definidas para os KPIs do projeto.

Além disso, foi realizada análise de impacto econômico a partir dos ganhos operacionais observados, considerando redução do tempo médio de *setup*, diminuição da massa de refugo e conversão desses efeitos em *saving* mensal e anual. Também foi estimado o *payback* do investimento associado às melhorias implantadas, para avaliar viabilidade de manutenção e replicação das ações.

Para o cálculo do impacto econômico, foi considerado para cálculo de custos envolvidos no projeto (CP), o valor de hora-homem (HH) de todos os envolvidos, inclusive nos momentos de treinamento, o custo da peça que seria utilizada para a realização do ajuste mecânico (CA), e alguns gastos extras necessários para a realização das atividades (CE), como exemplo o coffee-break realizado durante os treinamentos. Sendo calculado de acordo com a Equação (1).

$$CP = HH + CA + CE \quad (1)$$

Para o cálculo do valor economizado mensalmente em decorrência dos ganhos obtidos com a implementação do projeto (VE_m), foram considerados o valor da hora-homem (HH), o valor da hora-máquina (HM) e o valor médio da mídia filtrante (VM), determinado com base nas dez últimas aquisições desse material realizadas pela empresa. A Equação (2) apresenta o método utilizado para o cálculo do custo médio da mídia filtrante, em que C1, C2, C3, ..., C10 correspondem aos valores das dez últimas compras efetuadas. Já a Equação (3) demonstra o procedimento adotado para a determinação do valor economizado.

$$VM = \frac{C1 + C2 + C3 + \dots + C10}{10} \quad (2)$$

$$VE_m = HH + HM + VM \quad (3)$$

Para obter-se o ganho econômico anual (VE_a) multiplica-se o ganho mensal por 12, como demonstrado na Equação (4).

$$VE_a = VE_m \times 12 \quad (4)$$

Por fim, para a determinação do *Payback* (PB), indicador que representa o período necessário para que os ganhos gerados pelo projeto compensem o investimento realizado, utilizou-se a Equação (5).

$$PB = \frac{CP}{VE} \quad (5)$$

Desse modo, é possível calcular todos os custos e ganhos gerados pelo projeto.

4.7 CRITÉRIOS DE REPLICABILIDADE, ESCALONAMENTO E LIMITAÇÕES OPERACIONAIS

Ao final, foram consolidadas diretrizes para replicação do método em outras linhas de plissagem com características semelhantes. Como limitações práticas do ciclo estudado, foram registrados fatores de execução, como disponibilidade de equipe, resistência inicial à mudança e prazo para demandas mecânicas, aspectos

considerados na interpretação dos resultados e no planejamento das etapas subsequentes.

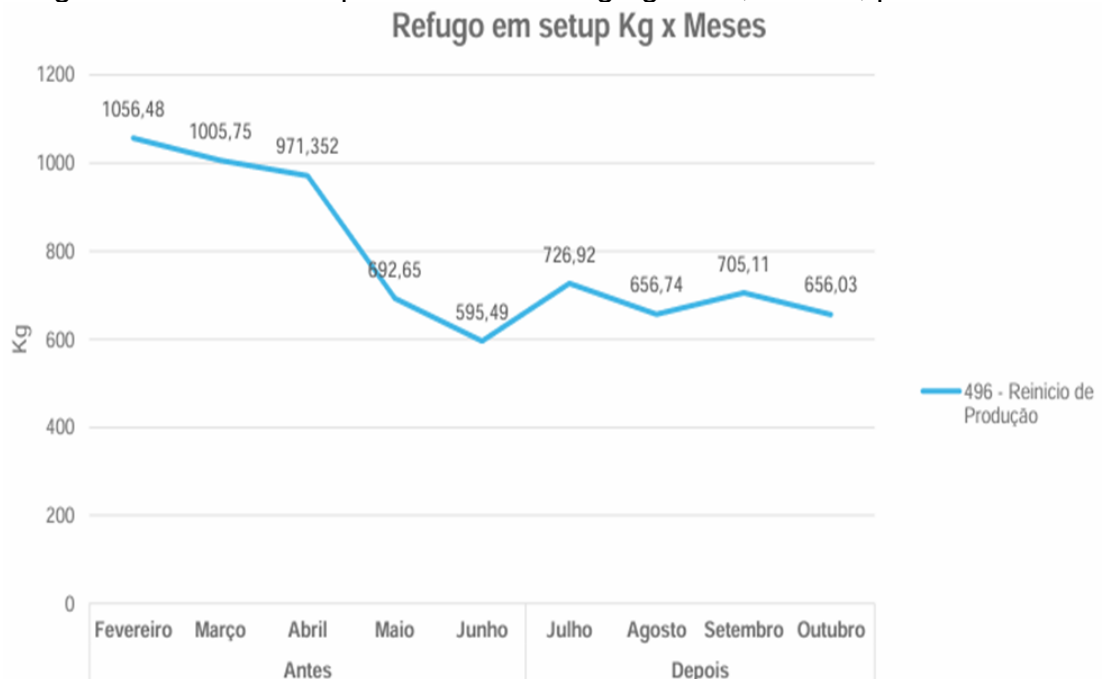
Já o escalonamento do processo foi compreendido, neste trabalho, como a possibilidade de transferir as melhorias validadas na linha piloto para outras linhas de plissagem com características operacionais semelhantes. Essa transposição, contudo, não deve ser entendida como simples reprodução literal das ações implementadas, mas como aplicação do mesmo raciocínio metodológico em diferentes contextos produtivos, considerando particularidades de equipamento, meio filtrante, mix de produção, frequência de *setup* e restrições de layout [3,7].

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciaram uma mudança significativa no comportamento do processo de plissagem da linha piloto. Ao comparar o cenário inicial, caracterizado por elevada variabilidade e perdas recorrentes, com o cenário pós-implementação, observou-se maior previsibilidade operacional e padronização das atividades. A redução do tempo médio de setup de 45 para 30 minutos demonstrou não apenas ganho de produtividade, mas também maior estabilidade no processo.

A redução média de aproximadamente 29,89% na massa refugada mensal, equivalente a cerca de 290,42 kg/mês, reforçou que a melhoria não se restringiu à dimensão temporal, alcançando também eficiência material do sistema produtivo, tal queda pode ser analisada pela Figura 4. Esse resultado foi particularmente relevante porque, em processos de transformação contínua, perdas de *setup* usualmente refletem falhas de sincronização entre método, regulagem, condição de equipamento e fluxo de insumos; portanto, quando o refugo cai em conjunto com o tempo de preparação, há evidência mais robusta de redução de causas-raiz operacionais e não apenas deslocamento estatístico momentâneo do indicador.

Figura 4 - Gráfico da quantidade de refugo gerado, em KG, por mês.

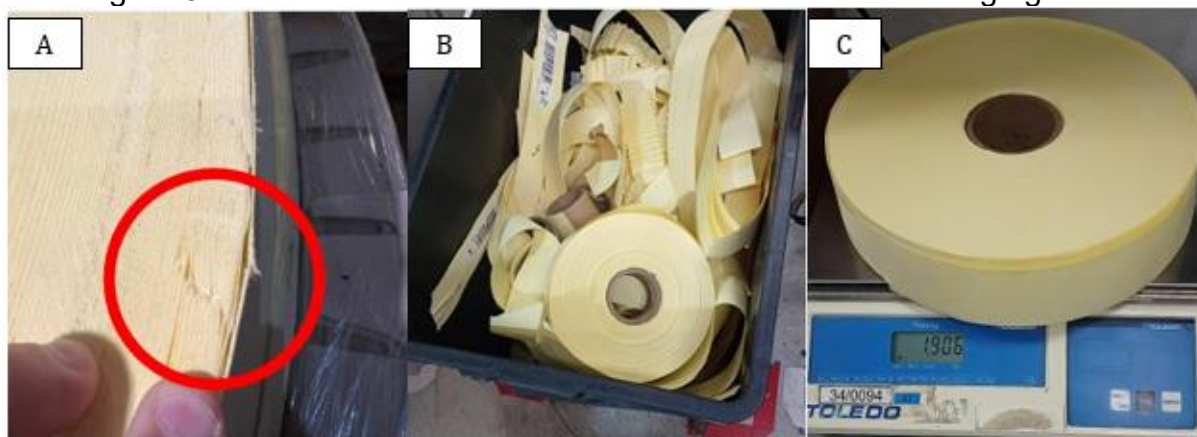


Fonte: Próprio autor, 2025.

Sob perspectiva de engenharia de produção, a melhoria observada no tempo de *setup* deve ser interpretada como resultado de uma intervenção sistêmica e não como efeito pontual de treinamento isolado. A literatura clássica do SMED estabelece que reduções sustentáveis de tempo emergem quando há separação clara entre atividades internas e externas, simplificação de ajustes, eliminação de movimentações desnecessárias e conversão de tarefas dependentes de habilidade tácita em rotinas formalizadas. Nesse sentido, a trajetória relatada no projeto esteve alinhada a essa base conceitual ao combinar padronização operacional, revisão de método e intervenções técnicas no processo.

Além disso, observou-se uma fonte relevante de desperdício relacionada ao armazenamento inadequado das bobinas, que ocasionava danos ao material e exigia a retirada integral da porção afetada, demonstrado pela Figura 5-A. Como a linha operava com três bobinas simultaneamente, a necessidade de substituição ao término de uma delas implicava a troca conjunta das demais, mesmo quando ainda apresentavam material utilizável, o que ampliava significativamente o volume de refugo gerado, podendo ser observado o final de outras bobinas descartados pela Figura 5-B e pela Figura 5-C tem-se a quantidade de 1,906 Kg descartados, pelo motivo citado anteriormente.

Figura 5 - Detalhamento de danos às bobinas e volume de refugo gerado.



Fonte: Próprio autor, 2025.

Assim, para evitar tal desperdício, juntamente com os colaboradores da Logística, foi possível identificar um local e forma mais adequados para a colocação deste material, sem que houvesse tais danos. Assim, reduzindo uma grande parcela do refugo gerado, sem gasto e de maneira eficiente.

A análise das cartas de monitoramento mostrou redução da amplitude dos picos e menor frequência de pontos extremos no pós-implementação, embora ainda com presença de dispersão residual em certos períodos, como mostrado na Figura 6. À luz do controle estatístico de processo, essa configuração é compatível com fase intermediária de estabilização, na qual parte das causas especiais foi mitigada, mas o sistema ainda convive com fontes remanescentes de variabilidade associadas à maturidade de execução, disciplina de método e completude das ações planejadas. Em outras palavras, os dados sugeriram avanço inequívoco de desempenho, sem caracterizar ainda um estado plenamente otimizado de controle estatístico.

Figura 6 - Cartas de monitoramento da pré e pós implementação.



Fonte: Próprio Autor, 2025.

Esse comportamento intermediário também é coerente com a dinâmica de implementação em ambiente real de produção, onde mudanças de processo convivem com limitações de capacidade, conflitos de agenda e resistência sociotécnica à alteração de rotina. A literatura aplicada em projetos Lean/SMED aponta que ganhos iniciais frequentemente surgem antes da completa consolidação cultural do novo padrão, o que explica por que parte da variabilidade persiste durante os primeiros ciclos pós-intervenção. Assim, a leitura dos resultados exige cautela metodológica: houve melhora material dos indicadores, mas a robustez de longo prazo depende de reforço continuado de governança operacional.

A discussão causal dos achados apontou que a efetividade do projeto decorreu da convergência entre ações organizacionais e técnicas. De um lado, revisão de instruções de trabalho, rotinas de 5S e definição de sequência operacional reduziram ambiguidades de execução e melhoraram repetibilidade; de outro, ajustes mecânicos e propostas de retrofit atacaram limitações físicas que comprometiam estabilidade durante trocas. Essa combinação é metodologicamente consistente com o

entendimento de que perdas de *setup* são fenômenos multifatoriais, que demandam resposta integrada entre método, máquina e gestão da operação.

Quando se observa especificamente o papel da padronização, nota-se que o projeto avançou de uma condição inicialmente descrita como "não padronizada" para um estado com maior homogeneidade do tempo de preparação. Esse ponto é decisivo porque processos dependentes de decisões ad hoc de operadores tendem a apresentar maior dispersão e maior sensibilidade a mudanças de turno, equipe e carga de trabalho. Ao transformar o conhecimento tácito em procedimentos padronizados e passíveis de verificação, o sistema produtivo reduz a dependência individual dos operadores e aumenta a reprodutibilidade do processo, estabelecendo uma base sólida para a obtenção de ganhos sustentáveis em produtividade, qualidade e estabilidade operacional.

Também se destacou a relevância do plano de coleta e monitoramento adotado, que incluiu variáveis operacionais objetivas (minutos de *setup* e kg de refugo) e verificações de contexto (armazenagem e documentação de apoio). Essa arquitetura de dados permitiu análise pré/pós mais consistente, evitando leituras simplificadas baseadas em percepção subjetiva de melhoria. Em termos metodológicos, a disponibilidade de indicadores diretos e rastreáveis fortaleceu a validade interna do estudo, porque conectou ações implementadas a efeitos mensuráveis no desempenho da linha piloto.

No eixo econômico, com a utilização da Equação (2) e da Equação (3), obteve-se um *saving* mensal de R\$ 7.106,42 e, através da Equação (4), o *saving* anual estimado de R\$ 85.277,05, e com a utilização da equação (5), obteve-se um *payback* aproximado de 1 mês, evidenciaram retorno financeiro expressivo frente ao investimento informado. Para além do mérito contábil, esse resultado tem implicação gerencial relevante: em contextos industriais com múltiplas demandas concorrentes, projetos de melhoria só ganham prioridade permanente quando demonstram impacto econômico verificável em prazo compatível com o ciclo decisório da planta. Nesse aspecto, o estudo produziu argumento forte para continuidade e escalabilidade das ações.

Entretanto, uma leitura crítica dos resultados exige reconhecer que parte das ações estruturais permaneceu em status de continuidade após o ciclo principal, especialmente intervenções mecânicas e de consolidação de treinamento. Isso significa que os ganhos reportados podem ser entendidos como patamar parcialmente

capturado de um potencial maior ainda em desenvolvimento. A presença de ações pendentes não invalida os resultados já observados; ao contrário, indica janela concreta de aprofundamento dos ganhos, desde que haja governança de implantação, monitoramento periódico e alinhamento entre áreas de suporte e operação.

Outro aspecto relevante da discussão refere-se à replicabilidade. O próprio projeto indicou possibilidade de transferência do método para outras linhas com objetivo equivalente, o que é plausível do ponto de vista técnico desde que se preserve a lógica de adaptação ao contexto local de equipamento, mix de produto e restrições de fluxo. A literatura de implementação em manufatura mostra que replicação acrítica de soluções tende a reduzir efetividade; portanto, o valor do estudo está menos na cópia literal das ações e mais na arquitetura metodológica empregada: diagnóstico orientado a dados, priorização de causas, execução incremental e validação por indicadores.

Do ponto de vista de maturidade operacional, os resultados sugerem que o processo avançou de um estágio reativo para um estágio mais preventivo de gestão de *setup*, em que o desempenho passa a ser acompanhado por rotina de medição e intervenção dirigida. Essa transição é particularmente importante em sistemas com pressão por produtividade, pois reduz dependência de correções emergenciais e cria base para ciclos sucessivos de melhoria. Assim, a contribuição do trabalho não se limita ao ganho numérico imediato, mas inclui fortalecimento do sistema de gestão do processo de plissagem.

Além disso, do ponto de vista técnico, o escalonamento depende da consolidação prévia de um padrão mínimo de execução na linha piloto, pois somente processos com método estabilizado permitem adaptação segura para outros ambientes produtivos. Dessa forma, os resultados obtidos na linha do Forno funcionam como referência inicial para expansão, mas a replicação em escala deve ser acompanhada por nova etapa de diagnóstico local, definição de indicadores e validação progressiva dos ganhos em cada linha-alvo.

Também se destaca que o escalonamento está diretamente condicionado à capacidade de sustentar treinamento, disciplina operacional e suporte de manutenção, uma vez que parte dos resultados observados decorreu da integração entre método, organização e adequações técnicas. Assim, caso a empresa opte por ampliar a aplicação da proposta, recomenda-se uma implantação faseada, com priorização das linhas de maior criticidade de refugo e maior frequência de *setup*, de

modo a maximizar retorno técnico e econômico com menor risco de variabilidade na expansão.

Com isso, a discussão dos achados permite afirmar que a combinação entre padronização de *setup*, disciplina de execução, melhorias de organização e intervenções técnicas produziu ganhos concretos e economicamente relevantes na linha estudada. Ao mesmo tempo, os dados indicaram que a estabilidade plena ainda depende da conclusão de ações remanescentes e da manutenção da rotina de controle. Dessa forma, os resultados sustentam uma conclusão equilibrada: o projeto foi efetivo e tecnicamente consistente no curto prazo, e apresenta potencial de ampliação no médio prazo se a governança de continuidade for mantida com foco em variabilidade residual, capacitação operacional e robustez mecânica do processo.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho conseguiu desenvolver e validar uma proposta de melhoria para o processo de plissagem na linha do Forno, evidenciando que o diagnóstico baseado em dados, a padronização do *setup* e intervenções organizacionais resultaram em ganhos operacionais claros. A redução do tempo médio de *setup* de 45 para 30 minutos e a diminuição do refugo comprovam avanços significativos na produtividade e eficiência do uso de materiais.

Os resultados destacam que melhorias sustentáveis em processos industriais são fruto de uma abordagem sistêmica que combina método, controle, disciplina operacional e adequação técnica dos equipamentos. A análise dos indicadores pré e pós-intervenção sinaliza uma evolução rumo a maior estabilidade do processo, mesmo com variabilidade residual, o que é esperado em fases de aprimoramento contínuo em ambientes produtivos.

Além disso, notavelmente, o estudo demonstrou a viabilidade econômica das ações implementadas, com uma economia mensal e anual significativa e um *payback* reduzido. Além disso, a metodologia aplicada é replicável em outras linhas de produção com contextos semelhantes. Para garantir os resultados a longo prazo, recomenda-se finalizar as ações estruturais pendentes, fortalecer a rotina de treinamentos e continuar o monitoramento estatístico, visando consolidar a estabilidade do processo e maximizar os ganhos já obtidos.

REFERÊNCIAS

- [1] MADDINENI, Ajay Kumar; DAS, Dipayan; DAMODARAN, Ravi Mohan. Numerical investigation of pressure and flow characteristics of pleated air filter system for automotive engine intake application. *Separation and Purification Technology*, v. 212, p. 126-134, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.11.014>. Acessado em: 25 mar. 2026.
- [2] TENG, Guangping; SHI, Guoqing; ZHU, Jintuo. Influence of pleated geometry on the pressure drop of filters during dust loading process: experimental and modelling study. *Scientific Reports*, v. 12, 20331, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24838-7>. Acessado em: 25 mar. 2026.
- [3] SHINGO, Shigeo. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1985.
- [4] BIDARRA, Tiago; GODINA, Radu; MATIAS, João C. O.; AZEVEDO, Susana G. SMED methodology implementation in an automotive industry using a case study method. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 9, n. 1, p. 1--16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2018-1-101>. Acesso em: 26 mar. 2026.
- [5] OLIVEIRA, Cátia; LIMA, Tânia M. Setup time reduction of an automotive parts assembly line using Lean tools and quality tools. *Eng*, v. 4, n. 3, p. 2352--2362, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/eng4030134>. Acesso em: 26 mar. 2026.
- [6] NIST/SEMATECH. *e-Handbook of Statistical Methods: Process or Product Monitoring and Control*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2003. Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/pmc.htm>. Acesso em: 9 mar. 2026.
- [7] GARCIA, Victor. Filtro de combustível: sua função e quando trocá-lo. *Vintage Clássicos*, 26 out. 2023. Disponível em: <https://vintageclassicos.com.br/?s=filtro+de+combustivel>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- [8] BRITANNICA DICTIONARY. Pleat. Disponível em: <https://www.britannica.com/dictionary/pleat>. Acesso em: 9 mar. 2026.
- [9] SHINGO, Shigeo. *O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- [10] CAMPOS, Vicente Falconi. *Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia*. 9. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.
- [11] LIKER, Jeffrey K. *O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2005.

[12] MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

[13] OHNO, Taiichi. O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6024**: Informação e documentação - Numeração progressiva das seções de um documento - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: 2011.

[18] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Coordenadoria Geral de Bibliotecas. Rede de Bibliotecas. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**: apresentação: ABNT. São Paulo, 2023.

[19] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**: citação e referência: ABNT. São Paulo: UNESP, 2020. Disponível em:
https://drive.google.com/file/d/1auB4wt9daF8l25Q5A57rkVQG_3o94VBi/view.
 Acesso em: 25 ago. 2023.

[20] OSADA, Takashi. The 5S's: five keys to a total quality environment. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1991.

[21] SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

[22] TUBINO, Dalvio Ferrari. Planejamento e controle da produção: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

[23] WERKEMA, Cristina. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Werkema, 2014.

[24] SUGAI, Miguel; MCINTOSH, Richard Ian; NOVASKI, Olívio. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. Gestão & Produção, São Carlos, v. 14, n. 2, maio/ago. 2007.

- [25] WANG, Jia; PONTING, Michael; ZHANG, Cong; OLAH, Andrew; BAER, Eric. Fuel filtration properties and mechanism of a novel fibrous filter produced by a melt-process. *Journal of Membrane Science*, v. 526, 2017
- [26] KRASIŃSKI, Andrzej; JACHIMCZYK, Patrycja. Surface modification of a polyester-augmented cellulose filter for dehydration of low-sulfur diesel. *ACS Omega*, v. 6, n. 28, 2021.
- [27] SUN, Christine; LEUBNER, Holger. Challenges of green fuel in filtration system. SAE Technical Paper 2009-01-0872. Warrendale: SAE International, 2009.
- [28] BIRCH, Brent L. Evaluation and function of fuel dispensing filtration for gasoline and ethanol blended motor fuels. SAE Technical Paper 2007-01-1426. Warrendale: SAE International, 2007.
- [29] GASTON, G. E.; THOMAS, J. J. Contributions of sediment and additives in gasoline to clogging of filters in automobile fuel systems. SAE Technical Paper 620389. Warrendale: SAE International, 1962.