

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DE GUARATINGUETÁ**

GABRIEL JOSÉ DE ARAÚJO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO A3 EM UM PROJETO DE REDUÇÃO DE CONSUMO
DE ENERGIA EM UMA MULTINACIONAL DO SETOR AUTOMOTIVO**

Guaratinguetá
2025



GABRIEL JOSÉ DE ARAÚJO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO A3 EM UM PROJETO DE REDUÇÃO DE CONSUMO
DE ENERGIA EM UMA MULTINACIONAL DO SETOR AUTOMOTIVO**

Trabalho de Graduação apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof. Me. Carlos Edilson
Chiaradia

Coorientador(a): Prof. Dr. Thiago Averaldo
Bimestre

Guaratinguetá

2025

A663u	Araújo, Gabriel José de Utilização do método A3 em um projeto de redução de consumo de energia em uma multinacional do setor automotivo / Gabriel José de Araújo - Guaratinguetá, 2025. 52 f : il. Bibliografia: f. 49-51 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2025. Orientador: Prof. Me. Carlos Edilson Chiaradia Coorientador(a): Prof. Dr. Thiago Averaldo Bimestre 1. Energia elétrica - Consumo. 2. Análise energética. 3. Indústria automobilística. 4. Controle de qualidade. I. Título. CDU 620.92
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

GABRIEL JOSÉ DE ARAÚJO

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO A3 EM UM PROJETO DE REDUÇÃO DE CONSUMO
DE ENERGIA EM UMA MULTINACIONAL DO SETOR AUTOMOTIVO**

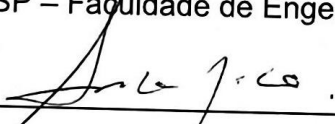
Trabalho de graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da defesa: 03/11/2025

Banca Examinadora:



Prof. Me. Carlos Edilson Chiaradia
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá



Prof. Dr. Antonio dos Reis de Faria Neto
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá



Profa. Dra. Thais Santos Castro
UNESP – Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos, minha noiva e ao meu orientador pela orientação e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ser sempre minha maior força para enfrentar todos os desafios.

À minha família, em especial meus pais Eliana e Jeferson e meus irmãos Jéssica e Jeferson Jr., que sempre me deram todo o suporte necessário nos momentos mais difíceis, pela dedicação, paciência e incentivos constantes para permanecer firme nessa jornada.

À minha noiva Josimara pelo companheirismo, paciência e por sempre acreditar em minha capacidade.

Ao meu professor orientador Carlos, por todo suporte, orientação, ensinamentos e direcionamentos que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos da FEG feitos durante este curso, que tornaram a caminhada muito mais feliz e leve de ser trilhada.

“Nunca escolha o caminho mais fácil, mas
enfrente as dificuldades.”
(Toshiya Iwasaki).

RESUMO

Este trabalho avalia a aplicação do método A3 em um projeto de redução do consumo de energia elétrica em uma lavadora de vidros laminados na etapa de inspeção final do processo de produção de uma empresa multinacional do setor automotivo. O tema proposto faz parte de um programa interno da empresa denominado “Jornada de Redução de Custos”, voltado à identificação e execução de ações para redução de custos operacionais. O projeto focou na avaliação do impacto da redução da temperatura da água utilizada na lavadora, buscando identificar o menor consumo energético possível sem comprometer a qualidade dos vidros. Foram realizados testes com diferentes faixas de temperatura, e a análise da qualidade dos produtos foi feita por meio de uma ferramenta de Gerenciamento de Ponto de Mudança, com validação técnica realizada por engenheiros e técnicos de processo. Essa ferramenta determina a aprovação ou reprovação dos modelos de vidro inspecionados, com base em critérios definidos na Ficha de Aceitação de Defeitos de cada produto. Ressalta-se que estudo foi direcionado exclusivamente a itens voltados ao mercado Original Equipment Manufacturer (OEM). Os resultados demonstraram que a adoção do método A3, aliado às ferramentas e práticas da empresa, permitiu uma tomada de decisão estruturada, promovendo economia de energia sem prejuízos à conformidade dos produtos.

Palavras-chave: Método A3; redução de custos; para-brisas; indústria automotiva; consumo de energia.

ABSTRACT

This study evaluates the application of the A3 methodology in a project aimed at reducing electricity consumption in a laminated glass washer during the final inspection stage of the production process at a multinational company in the automotive sector. The proposed topic is part of the company's internal program called the "Cost Reduction Journey," which focuses on identifying and implementing actions to reduce operational costs. The project concentrated on assessing the impact of lowering the water temperature used in the washer, aiming to achieve the lowest possible energy consumption without compromising glass quality. Tests were conducted with different temperature ranges, and product quality was analyzed using a Change Point Management tool, with technical validation performed by process engineers and technicians. This tool determines the approval or rejection of inspected glass models based on criteria defined in each product's Defect Acceptance Sheet. It is important to note that the study was exclusively directed at items intended for the Original Equipment Manufacturer (OEM) market. The results showed that the use of the A3 methodology, combined with the company's tools and practices, enabled a structured decision-making process, promoting energy savings without compromising product compliance.

Keywords: A3 Method; cost reduction; windshields; automotive industry; energy consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de processo para produção de para-brisa	20
Figura 2 – Representação do 5s	25
Figura 3 – Ciclo PDCA	27
Figura 4 – Modelo do relatório A3	29
Figura 5 – Etapas para desenvolvimento do Relatório A3	31
Figura 6 – Parâmetros de controle da água aplicados na lavadora	33
Figura 7 – Lavadora e Secadora – Inspeção Final	34
Figura 8 – Parâmetro de temperatura da água na Lavadora	37
Figura 9 – Estimativa de consumo energético mensal da lavadora na IF	38
Figura 10 – Meta estabelecida de redução do consumo médio de energia	39
Figura 11 – Diagrama de Causa e Efeito do problema	40
Figura 12 – 5 Porquês	41
Figura 13 – Comparativo de consumo de energia elétrica da lavadora entre os anos de 2022 e 2023	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição das etapas processo para produção de para-brisa	21
Quadro 2 – Contramedidas para redução do consumo de energia da lavadora	43
Quadro 3 – Plano de ações das contramedidas	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de temperatura e consumo de energia elétrica

42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Act</i>
IF	Inspeção Final
IHM	Interface homem-máquina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO.....	16
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1	VIDROS	17
3.1.1	Vidros laminados	17
3.1.2	Requisitos para vidros automotivos	18
3.1.3	Processo de fabricação de para-brisa automotivo	20
3.2	LEAN MANUFACTURING	22
3.2.1	Desperdícios no <i>Lean</i>	23
3.2.2	Programa 5s	25
3.2.3	Ciclo PDCA.....	26
3.3	MÉTODO A3.....	27
3.3.1	Origem do método A3	27
3.3.2	Relatório A3.....	28
3.3.3	Os 7 elementos do pensamento A3	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	32
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO	32
4.3	FERRAMENTAS E METODOLOGIAS APLICADAS	34
4.3.1	Quanto a coleta de dados	34
4.4	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	35
4.4.1	Natureza do trabalho	35
4.4.2	Objetivos do ponto de vista corporativo	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1	SITUAÇÃO ATUAL	37
5.2	META DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	38
5.3	IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES.....	39
5.4	SITUAÇÃO FUTURA E CONTRAMEDIDAS	42
5.5	PLANO DE AÇÃO	43
5.6	VALIDAÇÃO DO OBJETIVO E ACOMPANHAMENTO	44
5.7	RESULTADO APÓS A UTILIZAÇÃO DO A3.....	45
6	CONCLUSÃO.....	47

REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A – RELATÓRIO A3	51

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em meio a um cenário industrial global cada vez mais competitivo, a abordagem *Lean Manufacturing* tem ganhado destaque como uma estratégia eficaz de gestão e produção, voltada à melhoria da eficiência operacional e à eliminação de desperdícios. Desenvolvida inicialmente na década de 1950 pela *Toyota Motor Corporation* essa filosofia foi consolidada no chamado Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System – TPS*), cuja base está na produção puxada e melhoria contínua (KEHR; PROCTOR, 2016; ZALA et al., 2024). O termo "produção enxuta" foi posteriormente difundido para descrever esse novo paradigma industrial (KEHR; PROCTOR, 2016). Devido aos resultados expressivos em termos de produtividade, qualidade e flexibilidade, o *Lean* passou a ser amplamente adotado por empresas de diversos setores ao redor do mundo, incluindo pequenas e médias empresas, que buscam manter a competitividade e responder às demandas crescentes por eficiência (ZALA et al., 2024; ABOLHASSANI; JARIDI, 2016).

A Toyota, como organização pioneira na aplicação do sistema de produção enxuta, tornou-se uma referência global ao adotar e desenvolver ferramentas e métodos inovadores baseados nos princípios do *Lean Manufacturing*. Sua atuação serviu de modelo para diversas empresas ao redor do mundo, que passaram a incorporar esses conceitos em seus próprios sistemas produtivos (BHAMU; SANGWAN, 2014).

Dentre as ferramentas associadas à filosofia *Lean Manufacturing*, o método A3 tem se destacado como uma abordagem estruturada e eficaz para a resolução de problemas e condução de melhorias contínuas nos ambientes organizacionais. Desenvolvido no contexto do Sistema Toyota de Produção, o A3 baseia-se no ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), sendo caracterizado por uma lógica visual e sintética, geralmente documentada em uma única folha de papel no formato A3 (TORTORELLA et al., 2018). Seu objetivo é promover uma análise aprofundada da situação atual, identificação das causas raízes, proposição de contramedidas e padronização de boas práticas, favorecendo a comunicação entre diferentes áreas da organização e o alinhamento entre objetivos estratégicos e operacionais. Conforme destaca Battistella et al. (2023), o A3 é uma das ferramentas centrais adotadas sistematicamente por empresas que aplicam os princípios do pensamento enxuto, contribuindo para maior clareza no processo decisório.

Estudos recentes têm demonstrado a versatilidade do método A3, evidenciando sua aplicação não apenas na produção, mas também em iniciativas voltadas à otimização de processos e à melhoria da eficiência energética, ao permitir a identificação de ineficiências operacionais e a implementação de ações corretivas sustentadas por dados confiáveis (CANTINI et al., 2024). Diante deste contexto, a adoção da metodologia A3 neste trabalho se justifica por sua reconhecida relevância entre as ferramentas da qualidade, destacando-se pela eficácia na elevação do desempenho de produtos e serviços por meio da possibilidade de identificação sistemática e eliminação de problemas nos processos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia A3 em um projeto de redução do consumo de energia elétrica em uma empresa multinacional do setor automotivo, especificamente no processo de Inspeção Final de para-brisas. O estudo visa identificar as variáveis de processo que impactam o consumo energético em uma lavadora de vidros laminados, utilizando ferramentas de apoio à análise de dados e solução de problemas para estruturar o relatório A3. Além disso, o trabalho busca implementar e testar alterações nos parâmetros operacionais da lavadora, avaliando os resultados obtidos quanto à eficiência energética e à manutenção da qualidade do produto.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 VIDROS

O vidro é classificado como um sólido amorfo, caracterizado pela ausência de uma estrutura cristalina ordenada em longas distâncias entre seus grupos iônicos. Além disso, esse material apresenta um comportamento típico de transição vítrea dentro de uma faixa específica de temperatura, diferenciando-se dos sólidos cristalinos convencionais (SHELBY, 2005).

No setor automotivo, o vidro se destaca por sua capacidade de aliar segurança, desempenho óptico e resistência mecânica. A evolução tecnológica permitiu o desenvolvimento de vidros especiais, como os vidros temperados e laminados, que oferecem elevada resistência ao impacto e, em caso de quebra, fragmentam-se de forma controlada, reduzindo os riscos de ferimentos. Essa característica é fundamental em para-brisas, janelas laterais e traseiras de veículos. Além disso, graças à sua estabilidade química e térmica, o vidro automotivo pode ser projetado para resistir a variações bruscas de temperatura, radiações solares e agentes atmosféricos, mantendo a integridade estrutural e a visibilidade ao longo do tempo. Tecnologias como vidros fotocromáticos, que escurecem sob intensa radiação solar, e vidros com tratamento acústico também demonstram a versatilidade do material no aprimoramento do conforto e da segurança veicular (AKERMAN, 2000).

3.1.1 Vidros laminados

O vidro laminado é um tipo de vidro de segurança composto por, no mínimo, duas chapas de vidro do tipo soda-cal, unidas por uma película intermediária de polímero termoplástico, como o polivinil butiral (PVB), o mais comum, embora também possam ser utilizados etileno-vinil-acetato (EVA) ou resina. Essa película é posicionada entre as camadas vítreas, submetida à compressão e, em seguida, a um tratamento em autoclave que dura cerca de quatro horas, a aproximadamente 140 °C e sob pressão da ordem de 0,827 MPa, promovendo a adesão definitiva entre as camadas e conferindo ao conjunto rigidez e transparência (GIACOMINI, 2008; ABRAVIDRO, 2008). Devido a essas características, o vidro laminado é amplamente reconhecido por sua capacidade de oferecer segurança e resistência superior, sendo

utilizado em aplicações que demandam proteção, como na construção civil e no setor automotivo.

Em caso de quebra, a camada intermediária do vidro laminado mantém os fragmentos aderidos à superfície, prevenindo acidentes e lesões, o que reforça sua classificação como vidro de segurança. Sua origem remonta a 1903, quando o químico francês Edouard Benedictus observou que os estilhaços de um frasco de vidro não se espalharam após a quebra devido à presença accidental de um revestimento plástico, o que inspirou o desenvolvimento do material. Desde então, o vidro laminado passou a ser amplamente empregado em para-brisas de automóveis, expandindo-se posteriormente para aplicações arquitetônicas mais sofisticadas, como fachadas, coberturas e divisórias (ABRAVIDRO, 2008).

Entre as propriedades do vidro laminado destacam-se a proteção contra impactos, o bloqueio de raios UV, a capacidade de atenuação acústica e a possibilidade de controle solar. O processo industrial de laminação com PVB, por exemplo, assegura forte adesão entre as lâminas de vidro, estabilidade dimensional e desempenho óptico. Para o setor automotivo, esses atributos são essenciais, pois garantem visibilidade, resistência a variações térmicas e proteção passiva dos ocupantes do veículo em caso de colisão. A norma brasileira NBR 9491 regula a aplicação do vidro laminado em para-brisas, exigindo ensaios rigorosos como os de umidade e adesão, assegurando a durabilidade e a segurança do produto conforme exigido para veículos de transporte (ABRAVIDRO, 2008).

3.1.2 Requisitos para vidros automotivos

A Resolução CONTRAN nº 960 (BRASIL, 2022) estabelece que os veículos automotores devem sair de fábrica com suas partes envidraçadas equipadas com vidros de segurança que atendam aos termos da própria Resolução e aos requisitos técnicos definidos na NBR 9491 (ABNT, 2015). Para circulação nas vias públicas do território nacional, é obrigatório o uso de vidro de segurança laminado no para-brisa de todos os veículos, enquanto as demais partes envidraçadas devem ser constituídas de vidro de segurança temperado, uniformemente protendido, ou laminado, em conformidade com os padrões estabelecidos.

A norma NBR 9491 (ABNT, 2015) estabelece os requisitos mínimos e os métodos de ensaio para os vidros de segurança utilizados em veículos automotores,

com foco especial nos para-brisas, que obrigatoriamente devem ser compostos por vidro laminado. Este tipo de vidro é formado por duas ou mais chapas de vidro unidas por uma camada intermediária de polivinil butiral (PVB), cuja função principal é manter os fragmentos unidos após uma eventual quebra. Tal característica visa aumentar a segurança dos ocupantes do veículo, evitando o espalhamento de estilhaços em caso de colisões ou choques.

Para assegurar seu desempenho, o vidro laminado para para-brisas deve atender a ensaios específicos, entre os quais se destacam: ensaio de fragmentação, que avalia o tamanho e a aderência dos fragmentos após a quebra; ensaio de impacto por corpo mole, que simula choques acidentais; ensaio de adesão entre as camadas de vidro e o intercalante após a quebra; ensaio de resistência à radiação solar (ultravioleta); ensaio de umidade; ensaio de choque térmico; e ensaio de abrasão. Esses testes garantem que o vidro mantenha suas propriedades de segurança, transparência e integridade estrutural durante o uso veicular (ABNT, 2015).

A norma também determina requisitos dimensionais e critérios de aceitação visual. As amostras não podem apresentar bolhas, delaminações, trincas, inclusões ou outros defeitos que comprometam a segurança ou a visibilidade, especialmente nas áreas críticas do campo de visão do motorista. Além disso, é obrigatória a marcação permanente no vidro, contendo informações como: identificação do fabricante, tipo de vidro, número da norma técnica (NBR 9491), símbolo de conformidade com o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC), mês e ano de fabricação, entre outros dados. Essa marcação deve ser visível, indelével e colocada conforme especificado (ABNT, 2015).

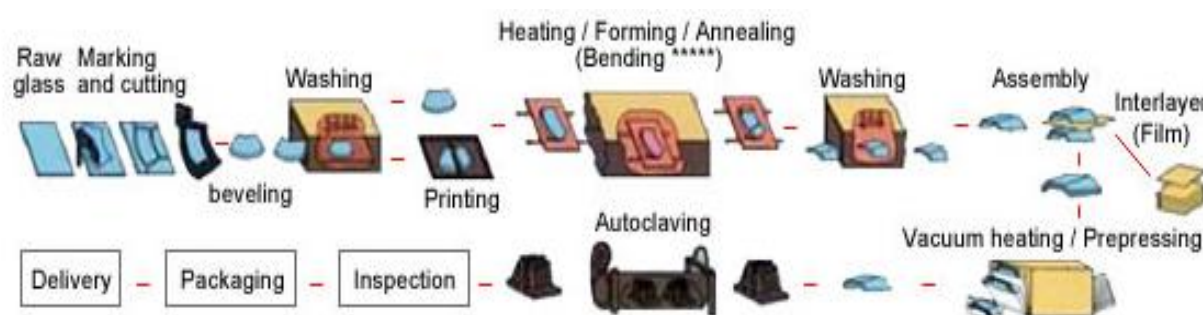
Por fim, a norma reforça que os para-brisas devem ser projetados e testados de forma a atender às condições reais de uso automotivo, garantindo não apenas a proteção física dos ocupantes, mas também a estabilidade óptica, resistência a variações climáticas e durabilidade ao longo do tempo. Dessa forma, a aplicação do vidro laminado conforme os requisitos da NBR 9491 assegura que os componentes de envidraçamento automotivo atendam aos critérios de segurança veicular passiva estabelecidos nacionalmente (ABNT, 2015).

3.1.3 Processo de fabricação de para-brisa automotivo

Atualmente, a principal tecnologia empregada na fabricação de para-brisas automotivos é o uso de vidro laminado, de modo a atender aos requisitos de segurança estabelecidos na Resolução CONTRAN nº 960 (BRASIL, 2022). Esse tipo de vidro é composto por duas chapas de vidro e uma camada intermediária de polivinil butiral (PVB), que mantém os fragmentos coesos em caso de quebra, proporcionando maior segurança aos ocupantes do veículo.

O processo de fabricação do vidro laminado envolve diversas etapas sucessivas que garantem sua integridade, segurança e desempenho final. Na Figura 1 é apresentado um processo típico, amplamente adotado na fabricação de para-brisas de vidro laminado.

Figura 1 – Fluxograma de processo para produção de para-brisa



Fonte: AGC (2025).

Uma descrição detalhada de cada uma das etapas apresentadas na Figura 1 pode ser encontrada no Quadro 1.

Considerando o processo apresentado na Figura 1, inicialmente parte-se de chapas de vidro float bruto (matéria-prima), as quais são marcadas e cortadas conforme o formato e dimensões desejadas. Em seguida, realiza-se a lapidação das bordas para acabamento e prevenção de trincas (GANA, 2009). Posteriormente, as chapas passam por uma primeira lavagem, etapa fundamental para garantir a limpeza da superfície e permitir a aderência da camada intermediária nos processos posteriores. Caso necessário, aplica-se, após a lavagem, impressão serigráfica ou decorativa, como em vidros automotivos (CHABUKSWAR, 2024).

O vidro é então submetido a tratamento térmico e conformação a quente. O aquecimento em moldes específicos permite obter formatos curvos, enquanto o recozimento elimina tensões internas do vidro (SAVINEAU, 1997; GANA, 2009). Após essa conformação, realiza-se uma nova lavagem, visando garantir que nenhuma impureza comprometa a aderência do filme intermediário (SAVINEAU, 1997).

Quadro 1 – Descrição das etapas do processo para produção de para-brisa

Etapas	Descrição
<i>Raw Glass</i>	Vidro <i>float</i> bruto (matéria-prima)
<i>Marking and cutting</i>	Corte e Destaque
<i>Beveling</i>	Lapidação
<i>Washing</i> (primeira lavagem)	Lavagem inicial para remoção de impurezas
<i>Printing</i>	Impressão serigráfica ou decorativa
<i>Heating / Forming / Bending</i>	Aquecimento, conformação (curvatura) e recozimento
<i>Washing</i> (segunda lavagem)	Nova lavagem após tratamento térmico
<i>Assembly</i>	Montagem (vidro + <i>interlayer</i> + vidro)
<i>Interlayer (Film)</i>	Filme intermediário (PVB)
<i>Autoclaving</i>	Autoclavação com alta temperatura e pressão
<i>Inspection</i>	Inspeção de qualidade final
<i>Packaging</i>	Embalagem do produto
<i>Delivery</i>	Expedição / Entrega ao cliente

Fonte: Elaborado pelo autor

Prossegue-se com a montagem do sanduíche, composto por duas folhas de vidro e uma camada intermediária de polivinil butiral (PVB). Essa etapa é realizada

em ambientes controlados, com filtragem de partículas e umidade. Em seguida, realiza-se a pré-prensagem a vácuo com aquecimento leve, removendo o ar entre as camadas e promovendo o contato inicial dos componentes, evitando a formação de bolhas (SAVINEAU, 1997).

A etapa mais crítica é a autoclavagem, na qual o conjunto é submetido a alta temperatura (entre 135 °C e 145 °C) e alta pressão (entre 10 bar e 14 bar), por tempo controlado. Esse processo assegura a adesão definitiva entre o vidro e o filme de PVB, resultando em um painel coeso, resistente a impactos, com propriedades de isolamento acústico e filtragem UV (GANA, 2009; AGC, 2018; GUARDIAN GLASS, 2024).

Por fim, o vidro laminado passa por uma inspeção de qualidade, é embalado adequadamente e, em seguida, encaminhado para entrega ao cliente.

3.2 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing*, ou Produção Enxuta, é uma filosofia de gestão voltada à eficiência produtiva, cuja ênfase recai sobre a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua dos processos. Conforme os fundamentos estabelecidos por Shingo e Ohno (SHINGO, 1996; OHNO, 1997), essa abordagem busca otimizar recursos e maximizar o valor ao cliente.

Desenvolvida inicialmente pela Toyota nas décadas de 1940 e 1950, essa metodologia evoluiu para se tornar um dos sistemas produtivos mais influentes e amplamente adotados em diversos setores industriais ao redor do mundo. No entanto, foi apenas a partir da década de 1990 que o *Lean* passou a ser efetivamente utilizado como estratégia de transformação organizacional em empresas de diferentes países (YOKOYAMA et al., 2019).

De acordo com Womack e Jones (2007), a estrutura do *Lean Manufacturing* está sustentada em cinco princípios fundamentais, os quais orientam a eliminação sistemática de perdas ao longo da cadeia produtiva, os quais são:

- **Identificação do Valor:** O primeiro princípio do *Lean Manufacturing* consiste em compreender claramente o que representa valor do ponto de vista do cliente. Essa etapa envolve a distinção entre atividades que agregam valor (VA) e aquelas que não agregam valor (NVA) ao produto ou serviço, com o objetivo

de reduzir o uso desnecessário de recursos durante o processo produtivo (SUNDAR et al., 2014);

- **Mapeamento do Fluxo de Valor:** Trata-se da representação visual de todas as etapas envolvidas na entrega de um produto ou serviço, desde o desenvolvimento até a entrega ao cliente final. O mapeamento permite identificar pontos críticos, como gargalos, desperdícios e atrasos, viabilizando ações de melhoria contínua para aumentar a eficiência do fluxo de trabalho;
- **Estabelecimento de Fluxo Contínuo:** Esse princípio visa a eliminação de interrupções, estoques intermediários e tempos de espera entre as fases do processo produtivo. A criação de um fluxo contínuo proporciona maior fluidez à operação, resultando em maior produtividade e menor ocorrência de desperdícios;
- **Sistema de Produção Puxada:** Diferentemente do modelo tradicional, em que a produção é baseada em previsões, o *Lean* adota o conceito de produção puxada, no qual os itens são produzidos conforme a demanda real do cliente. Isso reduz significativamente a formação de estoques desnecessários e melhora o atendimento às necessidades do mercado;
- **Busca Contínua pela Perfeição:** Este princípio estabelece uma cultura de aprimoramento constante em todos os níveis da organização. A perfeição, embora inatingível em sua totalidade, é tratada como uma meta a ser perseguida continuamente, por meio da eliminação sistemática de desperdícios, melhoria da qualidade, redução de custos e aumento da eficiência dos processos.

3.2.1 Desperdícios no *Lean*

Dentro da abordagem da Produção Enxuta, os desperdícios — denominados “*Mudas*” na terminologia japonesa — representam todas as formas de ineficiência que não contribuem para o valor do produto entregue ao cliente. Segundo Wahab et al. (2013), com base nas definições de Womack e Jones (2007), considera-se desperdício toda ação que utiliza recursos humanos, materiais ou financeiros sem gerar valor agregado ao produto ou serviço. Já Liker (2021) classificou esses desperdícios em sete categorias distintas:

1. **Superprodução:** Ocorre quando se fabrica mais do que o necessário ou antes da real demanda, gerando desperdícios como uso excessivo de mão de obra, aumento nos custos de transporte e armazenamento devido ao acúmulo de estoque;
2. **Tempo de espera:** Refere-se aos períodos ociosos em que operadores ou máquinas ficam inativos aguardando materiais, insumos ou instruções para continuar o processo produtivo;
3. **Transporte desnecessário:** Envolve o deslocamento excessivo de materiais, peças ou informações dentro ou entre setores, muitas vezes ao longo de distâncias desnecessárias, o que compromete a eficiência do fluxo produtivo;
4. **Processamento inadequado ou em excesso:** Diz respeito à realização de etapas além do necessário ou mal planejadas, frequentemente associadas a falhas no projeto de ferramentas ou produtos. Isso pode levar a esforços redundantes, aumento de defeitos e oferta de qualidade além do que é exigido;
5. **Estoque elevado:** Representa o acúmulo excessivo de matéria-prima, produtos em processo ou acabados, o que pode resultar em obsolescência, danos, aumento nos custos logísticos e atrasos, além de mascarar problemas como falhas no planejamento e desequilíbrios no ritmo de produção;
6. **Movimentação excessiva:** Caracteriza-se por deslocamentos físicos desnecessários realizados por colaboradores durante suas atividades, como procurar ferramentas, caminhar entre áreas ou manusear itens de forma ineficiente;
7. **Defeitos:** Abrange a produção de itens fora do padrão de qualidade, exigindo retrabalho, descarte, reposição e inspeções adicionais, o que consome recursos e reduz a produtividade.

Além dos sete desperdícios tradicionalmente reconhecidos, Liker (2021) propõe um oitavo tipo: o desperdício do potencial criativo dos colaboradores. Segundo o autor, embora essa perda seja extremamente relevante, ela não se encaixa completamente nas demais categorias, pois não representa uma barreira direta e visível ao fluxo do processo produtivo. Trata-se de um conceito mais abrangente, relacionado à subutilização de ideias, habilidades e iniciativas das pessoas dentro da organização.

3.2.2 Programa 5s

Durante as décadas de 1970 e 1980, era comum que profissionais norte-americanos visitassem as fábricas da Toyota no Japão. Nessas visitas, uma observação recorrente era o alto nível de limpeza e organização, a ponto de comentarem que "seria possível comer no chão das fábricas". Para os japoneses, porém, essa surpresa causava estranheza, pois entendiam como natural o direito de trabalhar em ambientes limpos e bem estruturados. Criado pelo japonês Hiroyuki Hirano, o programa 5S constitui um dos fundamentos do pensamento *Lean*, com foco na eliminação de atividades que não agregam valor ao processo. Seu objetivo é contribuir para o aumento da eficiência, da produtividade e da qualidade dos produtos (RIBEIRO et al., 2019).

O conceito do método 5S (Figura 2) tem origem em cinco termos japoneses que começam com a letra "S", sendo eles: *Seiri* (senso de utilização), *Seiton* (senso de ordenação), *Seiso* (senso de limpeza), *Seiketsu* (senso de padronização) e *Shitsuke* (senso de disciplina).

Figura 2 – Representação do 5s



Fonte: 8QUALI (2025).

Para facilitar a compreensão de cada um desses princípios, Muotka et al. (2023) apresentam as seguintes definições:

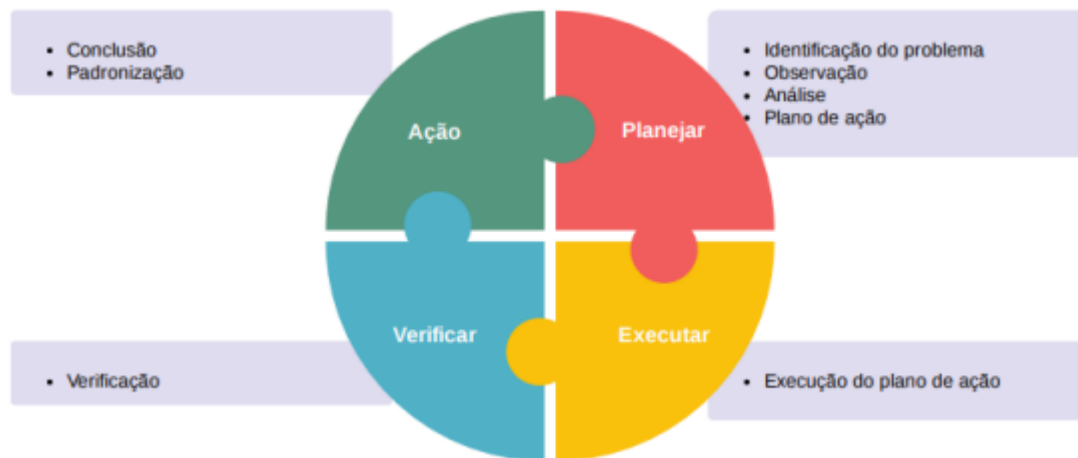
- **Seiri (utilização):** Consiste em identificar e remover do ambiente de trabalho todos os itens que não são essenciais, contribuindo para a organização eficiente do espaço;
- **Seiton (ordenação):** Refere-se à disposição sistemática dos materiais e ferramentas, assegurando fácil localização e acesso, geralmente com o auxílio de etiquetas ou identificações visuais;
- **Seiso (limpeza):** Envolve a manutenção constante da limpeza no local de trabalho, promovendo um ambiente visualmente agradável e funcional;
- **Seiketsu (padronização):** As boas práticas devem ser consolidadas por meio de métodos padronizados, como instruções visuais ou procedimentos operacionais, garantindo consistência nas atividades;
- **Shitsuke (disciplina):** Representa o comprometimento contínuo com os padrões estabelecidos, reforçado por auditorias regulares e pela incorporação desses hábitos à cultura organizacional.

3.2.3 Ciclo PDCA

De acordo com Marshall (2008), o princípio da melhoria contínua, conhecido como *kaizen*, tem como uma de suas representações mais emblemáticas o ciclo PDCA — também chamado de ciclo de Shewhart, seu criador. Esse ciclo é apresentado como uma ferramenta de gestão voltada à evolução constante dos processos. O termo PDCA é um acrônimo das etapas *Plan* (planejar), *Do* (executar), *Check* (verificar) e *Act* (agir), que refletem uma lógica iterativa de aprimoramento. Conforme o autor, suas quatro etapas traduzem os fundamentos da filosofia *kaizen* e, quando aplicadas de forma contínua e sistemática, promovem a padronização e o aperfeiçoamento progressivo das atividades dentro das organizações.

As etapas mencionadas estão representadas de forma visual na Figura 3.

Figura 3 – Ciclo PDCA



Fonte: Marshall (2008).

De acordo com Shook (2008), as etapas do ciclo PDCA podem ser definidas como:

- **Planejar:** etapa em que são identificados os problemas, estabelecidas metas e propostas ações para melhoria do processo;
- **Executar:** fase na qual são implementadas as mudanças ou introduzidos novos procedimentos;
- **Verificar:** consiste na análise dos resultados obtidos e na extração de aprendizados;
- **Agir:** momento em que os conhecimentos adquiridos são aplicados com o objetivo de padronizar e estabilizar o processo.

3.3 MÉTODO A3

3.3.1 Origem do método A3

Segundo Anderson (2010), a metodologia A3 foi criada pela Toyota no início da década de 1960 com o intuito de sistematizar a resolução de problemas e o desenvolvimento de soluções eficazes dentro da organização. Sobek e Smalley (2010) explicam que a proposta da ferramenta A3 não é apenas identificar e tratar problemas, buscando suas causas raízes, mas também relatar o andamento dos

projetos e manter a equipe informada sobre as atividades em curso. Na Toyota, o A3 é empregado como um instrumento estruturado de gestão de problemas, promovendo a documentação clara dos desafios enfrentados em um processo e sugerindo melhorias com base em uma análise criteriosa.

O nome “A3” refere-se ao tamanho da folha utilizada na elaboração do relatório (297 x 420 mm), como destaca Shook (2008). É nesse formato que se desenvolve o conteúdo visual e textual do relatório, incluindo diagramas que explicam o funcionamento do processo e destacam os pontos críticos da situação atual.

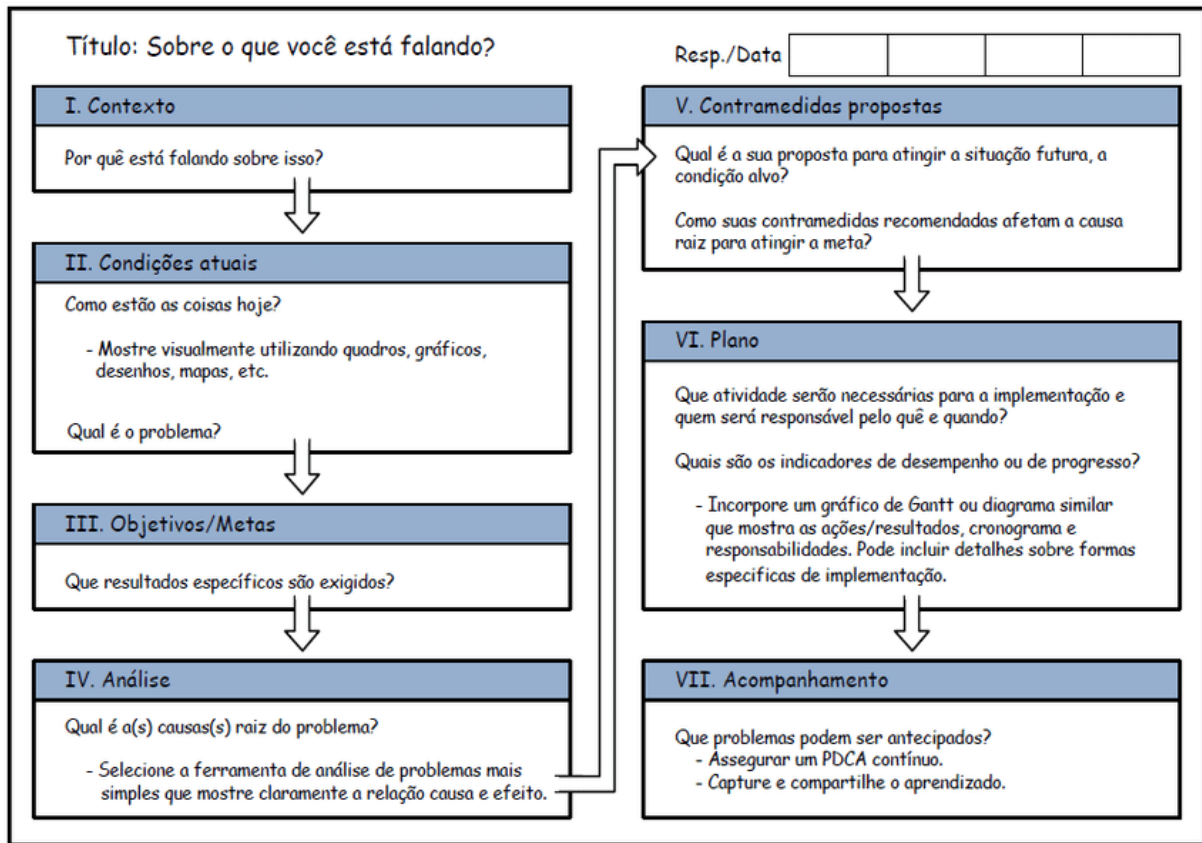
3.3.2 Relatório A3

O relatório A3 constitui um dos pilares do sistema de gestão da Toyota. Seu foco está no desenvolvimento contínuo dos colaboradores, incentivando o diálogo e a análise crítica. Esse tipo de relatório tem como propósito identificar a situação atual, compreender a origem do problema, avaliar diversas contramedidas possíveis, selecionar a mais eficaz, planejar sua implementação e demonstrar, por meio de evidências, que o problema foi efetivamente resolvido.

Para compreender a eficácia do relatório A3 e a lógica que o sustenta, é fundamental entender o ciclo PDCA. No entanto, é possível distinguir esses métodos a partir de suas origens culturais. O PDCA, desenvolvido no contexto ocidental, tende a focar em resultados imediatos, encerrando o processo uma vez que o problema é solucionado. Por outro lado, o relatório A3, criado no ambiente corporativo da Toyota no Japão, valoriza não apenas a resolução do problema, mas também o processo de aprendizado envolvido, buscando evitar a reincidência das falhas. Costuma-se ilustrar essa diferença com a seguinte comparação: se uma empresa americana e a Toyota enfrentassem o mesmo desafio, a organização americana dedicaria os três primeiros meses ao planejamento, os três seguintes à execução e os últimos seis meses a ajustes e melhorias. A Toyota, por sua vez, destinaria aproximadamente onze meses ao planejamento e apenas um mês à execução (SOBEK; SMALLEY, 2010).

A Figura 4 ilustra a estrutura típica utilizada na elaboração de um relatório A3.

Figura 4 – Modelo do relatório A3



Fonte: Shook (2008).

3.3.3 Os 7 elementos do pensamento A3

Segundo Sobek e Smalley (2010), a lógica por trás do Relatório A3 é sustentada por sete fundamentos principais, descritos a seguir:

- **Pensamento estruturado e lógico** – O uso do Relatório A3 permite desenvolver uma forma de pensar organizada e lógica, tornando possível visualizar os problemas com profundidade. Esse tipo de raciocínio favorece a identificação detalhada de questões, análise de alternativas e antecipação de dificuldades na implementação. Além de contribuir para resultados práticos, o A3 estimula abordagens colaborativas e consistentes, evitando esforços duplicados na busca por soluções.
- **Busca pela objetividade** – Embora cada indivíduo tenha sua própria percepção da realidade, é essencial que dentro de uma organização exista uma

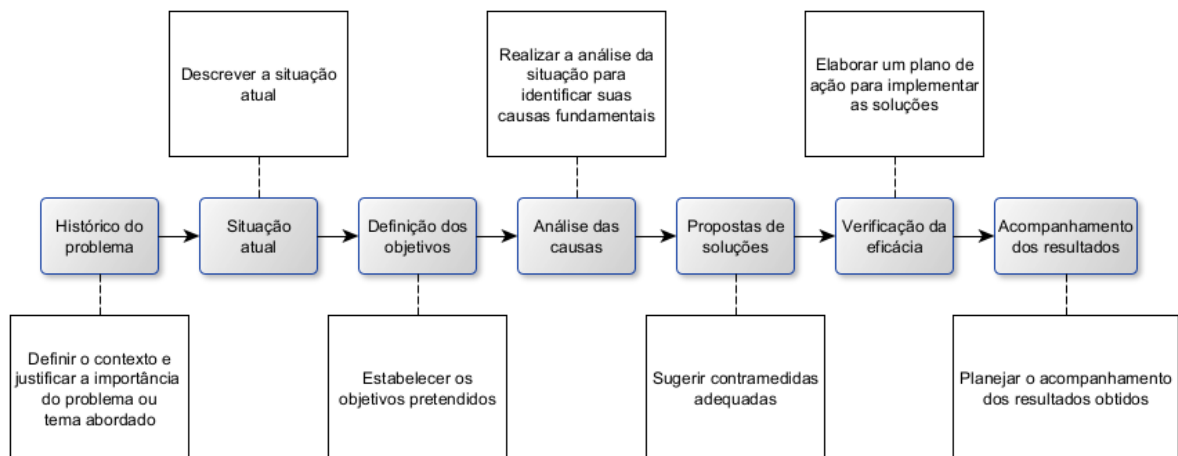
base comum de entendimento. O pensamento A3 permite conciliar diferentes perspectivas, promovendo uma visão mais objetiva e abrangente dos problemas, por meio da construção de uma representação compartilhada da realidade.

- **Valorização de processos e resultados** – No contexto do A3, os processos têm a mesma relevância que os resultados. A obtenção de bons resultados por métodos ineficientes não é aceitável. Assim, o Relatório A3 estimula a compreensão profunda dos problemas e o desenvolvimento pessoal na busca por soluções sustentáveis, rejeitando o sucesso baseado no acaso ou em práticas não replicáveis.
- **Capacidade de síntese e representação visual** – A estrutura concisa do A3 não visa apenas a brevidade, mas sim estimular a síntese do aprendizado adquirido durante a investigação. O autor deve filtrar as informações relevantes e apresentar um panorama claro e coerente, utilizando gráficos e ilustrações como recursos para transmitir as ideias com precisão.
- **Alinhamento organizacional** – O sucesso do relatório A3 depende da construção de um consenso entre os envolvidos. O método promove uma comunicação ampla, que abrange tanto a hierarquia vertical quanto os diferentes setores horizontais da organização, além de considerar o histórico do problema e possíveis exigências futuras.
- **Consistência e coerência** – Um Relatório A3 bem estruturado apresenta um fluxo lógico entre todas as suas partes. As metas, a descrição da situação atual, a análise das causas, as soluções propostas e os planos de ação devem estar totalmente conectados. A coerência interna é fundamental para garantir que os resultados estejam alinhados com os objetivos inicialmente estabelecidos.
- **Visão sistêmica** – Para aplicar o pensamento A3 de forma eficaz, é necessário compreender como as melhorias propostas impactam toda a organização. Deve-se considerar as interações entre os setores e evitar soluções que

resolvam um problema local, mas que possam causar impactos negativos em outras áreas.

Sobek e Smalley (2010) indicam que o Relatório A3 deve conter sete seções principais, além do título ou tema que contextualiza o documento. De forma complementar, Shook (2009) descreve que o desenvolvimento do Relatório A3 deve seguir uma sequência específica de etapas. Na Figura 5, apresenta-se o fluxograma que reúne as principais etapas indicadas por esses autores para a elaboração do Relatório A3.

Figura 5 – Etapas para desenvolvimento do Relatório A3



Fonte: Elaborado pelo autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi conduzido em uma planta industrial pertencente a uma multinacional do setor automotivo, cuja razão social não será apresentada por questões internas de confidencialidade de informações. A unidade analisada, localizada no Brasil, é especializada na produção de vidros automotivos, atendendo a diversas montadoras nacionais e internacionais.

O processo produtivo dessa unidade abrange as seguintes etapas: corte, serigrafia, forno (conformação), montagem e inspeção final dos para-brisas. A empresa adota metodologias voltadas à melhoria contínua, com foco na qualidade, na eficiência energética e na sustentabilidade. Além disso, suas práticas operacionais estão alinhadas a padrões de excelência e sistemas de gestão reconhecidos internacionalmente, como as normas ISO 9001 e IATF 16949.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

O trabalho realizado na planta industrial, apresentado neste estudo, tem como foco a etapa de inspeção final no processo de fabricação de para-brisas laminados, etapa responsável pela última verificação dos produtos antes da expedição ao cliente. Durante essa fase, são avaliadas características visuais e funcionais dos vidros, assegurando que estejam em conformidade com os padrões técnicos exigidos pela indústria automotiva.

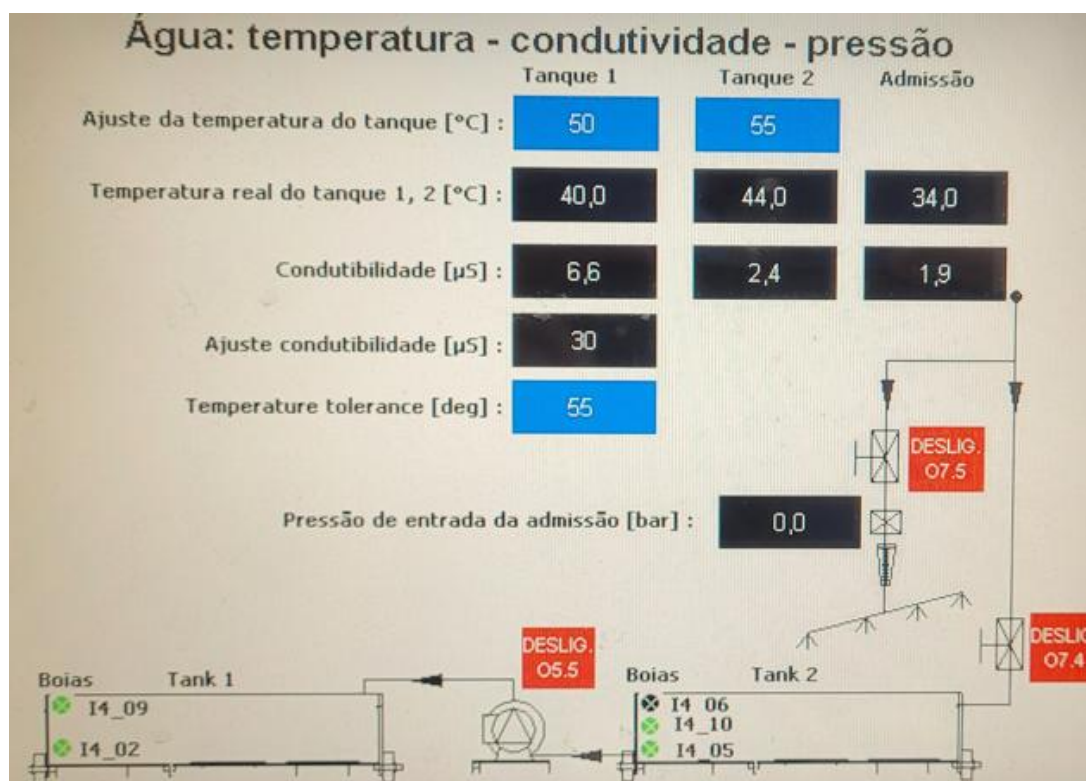
Dentro dessa etapa, a lavagem e secagem desempenham papel essencial para garantir a qualidade final do produto, removendo quaisquer impurezas remanescentes da produção, como partículas sólidas e outros contaminantes provenientes das etapas anteriores. Para isso, utiliza-se a lavadora, um equipamento composto por múltiplas seções, incluindo sistemas de aspersão, escovas rotativas, tanques de água, resistências elétricas para aquecimento da água e zonas de secagem com escoamento forçado de ar. O ciclo de lavagem é padronizado e controlado por parâmetros específicos, tais como condutibilidade, temperatura e pressão da água, além da velocidade de transporte.

O funcionamento da lavadora depende da água em diferentes temperaturas e pressões, conforme parâmetros definidos para garantir a eficácia da limpeza. A temperatura da água é um dos fatores críticos, pois influencia diretamente na eficiência da remoção das sujeiras, uma vez que temperaturas elevadas promovem maior solubilização das impurezas. Contudo, o aquecimento da água, realizado por resistências elétricas que operam por longos períodos, aliado ao acionamento contínuo de bombas e motores, torna a lavadora um dos principais consumidores de energia elétrica da linha de produção.

Diante desse cenário, a lavadora foi selecionada como objeto central deste estudo, que tem como objetivo investigar os parâmetros operacionais relevantes e propor melhorias, utilizando a metodologia A3, com foco na redução do consumo de energia sem comprometer a qualidade do produto.

As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente os parâmetros de controle da água empregada no processo de lavagem e a lavadora da Inspeção Final.

Figura 6 – Parâmetros de controle da água aplicados na lavadora



Fonte: Empresa X (2022).

Figura 7 – Lavadora e Secadora – Inspeção Final



Fonte: Empresa X (2022).

4.3 FERRAMENTAS E METODOLOGIAS APLICADAS

O projeto utilizou a metodologia A3 para estruturar o diagnóstico, análise e implementação das melhorias, garantindo um processo sistemático e focado na resolução do problema. Como ferramenta complementar para identificação das causas raízes do alto consumo energético, foi empregado o Diagrama de Causa e Efeito, que possibilitou a visualização clara dos fatores envolvidos no processo da lavadora.

Para garantir um diagnóstico preciso, uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros, técnicos e operadores participou ativamente da definição das variáveis críticas e das contramedidas, promovendo alinhamento entre os aspectos técnicos e operacionais.

4.3.1 Quanto a coleta de dados

As técnicas de coleta de dados representam um conjunto de procedimentos específicos aplicados com o propósito de adquirir conhecimento, constituindo a parte prática da obtenção de informações. Nesse sentido, para diagnosticar o elevado consumo de energia elétrica, foram coletados dados históricos da lavadora referentes ao ano de 2022, abrangendo o consumo mensal de eletricidade em kWh, além dos tempos de operação registrados em minutos e horas por mês.

Adicionalmente, a variável de processo monitorada foi a temperatura da água, medida diretamente por meio do painel de interface homem-máquina (IHM) da lavadora. Para viabilizar essa medição e assegurar a precisão dos dados, contou-se com o apoio dos departamentos de Engenharia de Processo e Manutenção, que colaboraram no acesso às informações do painel e na interpretação dos parâmetros exibidos.

A partir da temperatura registrada, foi realizada a análise da relação entre essa variável e o consumo de energia das resistências elétricas responsáveis pelo aquecimento da água. A lavadora conta com 12 resistências para essa finalidade. No entanto, como o painel da IHM não fornece a leitura direta do consumo energético individual dessas resistências, tornou-se necessário realizar medições, com o objetivo de estimar esse valor de forma mais precisa.

Sendo assim, foram feitas medições pontuais em situação controlada, mantendo a lavadora operando com a água estabilizada a 50 °C. Nessa condição, foi possível registrar o consumo elétrico de cada resistência utilizando equipamentos de medição externa, permitindo obter uma média de 3,3 kWh por unidade. A partir desses dados e dos tempos de operação, estimou-se o consumo total relacionado ao aquecimento da água, possibilitando avaliar o impacto desse subsistema no consumo energético geral do processo.

A análise inicial foi realizada por meio de tabelas comparativas, com o objetivo de identificar padrões de consumo e possíveis variações associadas à disponibilidade operacional da linha. Esses dados foram essenciais para compreender o comportamento energético do processo e direcionar as ações subsequentes do projeto.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

4.4.1 Natureza do trabalho

De acordo com os critérios propostos por Silva e Menezes (2005), quanto à sua natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois busca gerar conhecimento voltado à implementação prática do Relatório A3 na formulação de propostas de melhoria no ambiente industrial real da planta industrial pertencente ao setor automotivo. Segundo Matias Pereira (2012), a pesquisa aplicada se caracteriza

por utilizar os conhecimentos produzidos por estudos básicos, direcionando-os à resolução de problemas específicos, que no caso deste estudo se refere à necessidade de reduzir o elevado consumo de energia da lavadora de vidros laminados da etapa final do processo de fabricação da planta industrial em questão. Assim, esta investigação visou aplicar tais conhecimentos na prática, contribuindo diretamente para a melhoria dos processos industriais analisados.

4.4.2 Objetivos do ponto de vista corporativo

No que se refere aos seus objetivos, este trabalho busca mostrar como a aplicação do método A3 pode contribuir de forma prática para a condução de projetos voltados à eficiência energética dentro do setor industrial. A pesquisa, de natureza exploratória, foi realizada em uma empresa de grande porte do setor automotivo, tendo como foco o processo de lavagem de vidros (para-brisas).

A principal motivação da empresa com o uso da metodologia está relacionada à redução do consumo de energia elétrica e, consequentemente, à diminuição dos custos operacionais do processo. Além desses ganhos diretos, o projeto também visa aumentar a eficiência do processo produtivo e fortalecer uma cultura de melhoria contínua, com decisões baseadas em dados e análise estruturada de problemas.

Outro ponto relevante é que iniciativas como essa também contribuem para o alinhamento da empresa com práticas sustentáveis. Ao reduzir o consumo de energia, há uma queda proporcional nas emissões de CO₂, o que ajuda a empresa a atender exigências ambientais e metas ligadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como os ODS 7, 9 e 13, voltados para energia limpa, inovação industrial e combate às mudanças climáticas. Com isso, além de economizar, a empresa melhora sua imagem no mercado e se aproxima de compromissos ambientais cada vez mais cobrados pela sociedade e pelos seus clientes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 SITUAÇÃO ATUAL

Em 2022, observou-se um consumo energético elevado associado ao processo de lavagem de para-brisas, com impacto significativo no total de energia consumida pela linha de inspeção final. A análise do histórico operacional revelou que a lavadora operava com água aquecida a 50 °C (Figura 8) de forma contínua, independentemente das condições específicas do tipo de produto. Essa prática, embora eficaz na limpeza, não considerava critérios de otimização energética, contribuindo para o desperdício de energia.

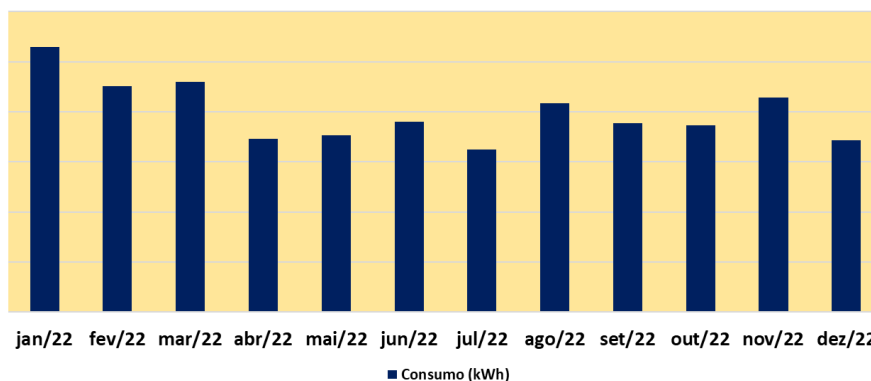
Figura 8 – Parâmetro de temperatura da água na Lavadora



Fonte: Empresa X (2022).

Por questões de confidencialidade industrial, os valores exatos de consumo de energia não puderam ser apresentados neste trabalho. No entanto, a tendência de consumo ao longo dos meses pode ser visualizada na Figura 9, que ilustra, qualitativamente, a evolução estimada do consumo energético do processo ao longo de 2022. Mesmo sem os rótulos de dados, o gráfico evidencia variações sazonais no consumo energético associadas à alternância de demanda entre os mercados OEM e ARG. Essas flutuações sugerem que alguns parâmetros operacionais podem não estar sendo ajustados de forma eficiente às mudanças de volume produtivo, reforçando a importância das ações corretivas propostas para estabilizar o consumo e aumentar a eficiência do processo. Durante determinados períodos do ano, a produção se concentra no atendimento ao mercado de reposição, o que reduz a utilização da linha de inspeção final analisada, dedicada exclusivamente aos produtos OEM. Essa sazonalidade influencia diretamente na frequência de operação da lavadora e, conseqüentemente, no consumo de energia elétrica.

Figura 9 – Estimativa de consumo energético mensal da lavadora na IF



Fonte: Empresa X (2022).

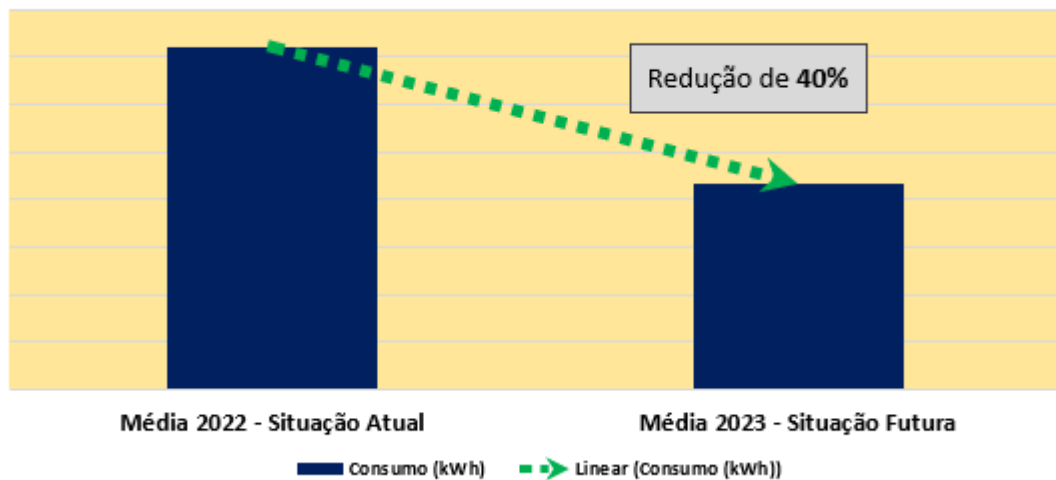
Além disso, não havia, até então, diferenciação no consumo de energia por modelo OEM, tampouco ajustes dinâmicos nos parâmetros da lavadora com base no tipo de vidro ou histórico de falhas de limpeza. Esse cenário indicou a necessidade de revisar o processo e aplicar uma metodologia estruturada para identificar oportunidades de melhoria, buscando reduzir o consumo de energia sem comprometer a qualidade da lavagem, um requisito fundamental para garantir a aceitação do produto pelos clientes. Dessa forma, a situação foi formalmente reconhecida como uma oportunidade de ganho em eficiência operacional, dando origem ao projeto de melhoria com aplicação da metodologia A3.

5.2 META DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como medida para conter o consumo excessivo de energia elétrica no processo de lavagem e secagem de para-brisas na linha de inspeção final, foi estabelecida como meta a redução de 40% no consumo energético até o mês de dezembro de 2023, conforme apresentado na Figura 10.

O cenário inicial estimado, com base nos dados operacionais de 2022, demonstrava um elevado consumo de energia devido ao uso contínuo das 12 resistências elétricas da lavadora, operando com temperatura média de 50 °C. Esse parâmetro, além de elevado, não apresentava controle padronizado nem monitoramento contínuo, o que contribuía diretamente para o aumento do consumo.

Figura 10 – Meta estabelecida de redução do consumo médio de energia



Fonte: Empresa X (2022).

Caso a meta estipulada seja atingida e mantida, a nova faixa de operação da lavadora será padronizada, garantindo não apenas a economia de energia, mas também a sustentabilidade do processo e a manutenção da qualidade do produto.

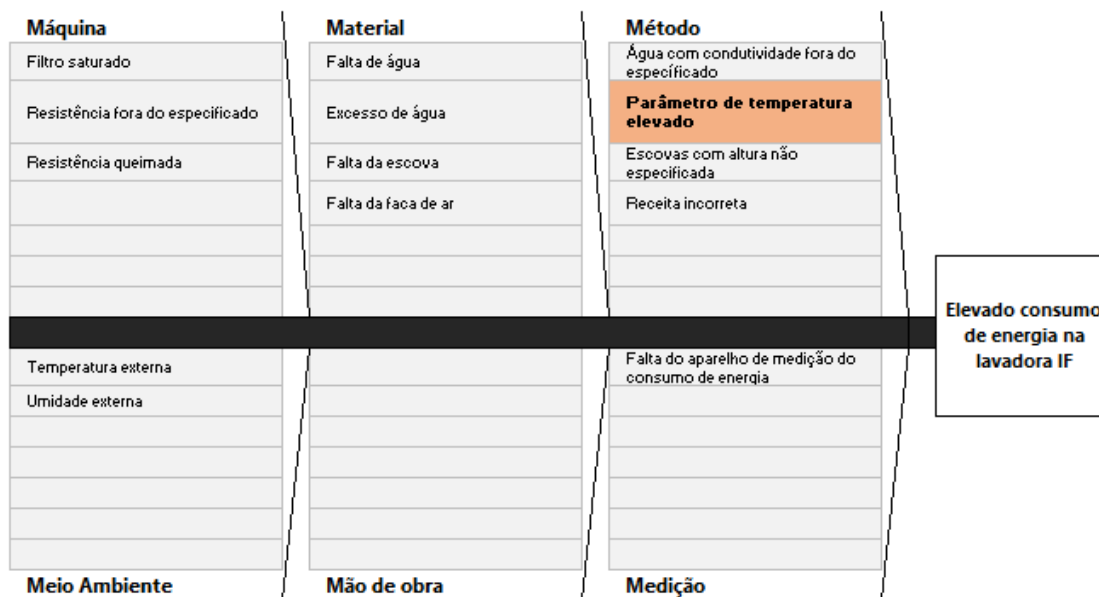
Vale ressaltar que, para garantir o sucesso na obtenção da meta, o processo de controle da temperatura deverá permanecer dentro dos parâmetros validados, e qualquer desvio será tratado por meio de ações corretivas rápidas, evitando impactos negativos no consumo ou na performance da limpeza.

5.3 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS CAUSAS RAÍZES

A primeira abordagem para compreender o problema foi realizada por meio do Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), o qual busca analisar o elevado consumo de energia elétrica na lavadora da IF a partir de diferentes categorias, como Máquina, Método, Material, Meio Ambiente, Mão de Obra e Medição.

A construção do diagrama (Figura 11) contou com o suporte da equipe do projeto, de forma colaborativa, permitindo levantar diversas causas potenciais que poderiam estar contribuindo para o consumo energético acima do desejado.

Figura 11 – Diagrama de Causa e Efeito do problema



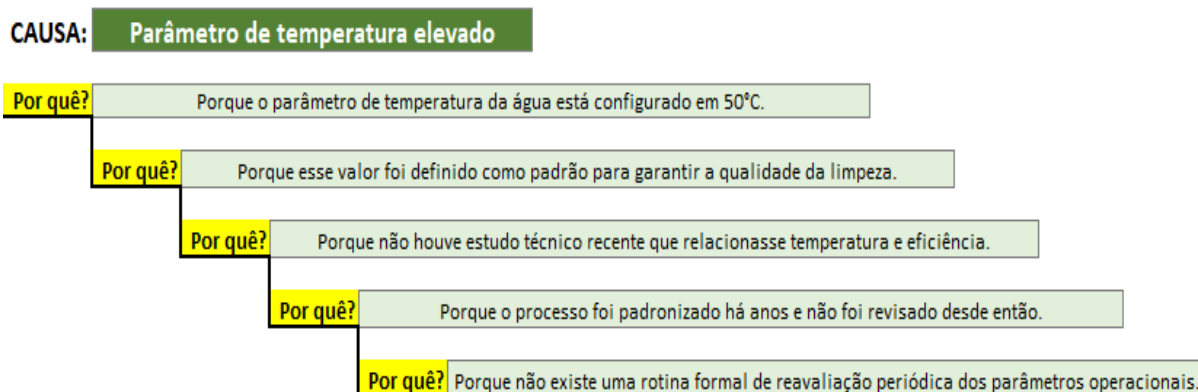
Fonte: Elaborado pelo autor

A confirmação dos dados por meio do diagrama de Ishikawa permitiu desenvolver a análise da causa raiz com foco na causa de maior potencial, conforme ilustrado na Figura 11. Verificou-se que o fator de maior impacto foi o método, especificamente o parâmetro de temperatura elevada na operação da lavadora. Essa causa foi selecionada devido à relação direta identificada entre o aumento da temperatura da água e o consequente incremento do consumo de energia elétrica pelas resistências de aquecimento.

Com base nos dados registrados de temperatura e consumo estimado, foi realizada uma análise aprofundada utilizando a ferramenta dos 5 Porquês, a fim de identificar os fatores que contribuíram para a definição inadequada desse parâmetro. Essa abordagem permitiu evidenciar a falta de critérios técnicos na configuração da temperatura e a ausência de medições específicas que justificassem tal valor operacional.

A Figura 12 apresenta a análise dos 5 Porquês, a qual ilustra de forma clara e estruturada o raciocínio lógico que levou à identificação da causa raiz do elevado consumo de energia no processo de lavagem.

Figura 12 – 5 Porquês



Fonte: Elaborado pelo autor

A aplicação da ferramenta dos 5 Porquês possibilitou aprofundar a investigação da causa raiz associada ao consumo excessivo de energia no processo de lavagem. Como demonstrado na Figura 12, a análise evidenciou que o parâmetro de temperatura da água foi fixado em 50 °C como padrão para garantir a qualidade da limpeza, sem que houvesse um estudo técnico recente que relacionasse esse valor com a eficiência energética. Observou-se, ainda, que o processo foi padronizado há vários anos e, desde então, não passou por revisões estruturadas.

O último nível da análise revelou que a causa raiz do problema está na ausência de uma rotina formal de reavaliação periódica dos parâmetros operacionais, o que permitiu a manutenção de práticas obsoletas e energeticamente ineficientes. Dessa forma, ficou claro que a falta de um sistema estruturado de monitoramento e revisão impediu a identificação de alternativas mais econômicas, contribuindo diretamente para o consumo elevado de energia elétrica registrado em 2022.

Essa conclusão reforça a necessidade de implementar mecanismos de gestão voltados para o acompanhamento contínuo dos parâmetros de processo, garantindo não apenas a redução do consumo de energia, mas também a atualização constante das práticas operacionais em consonância com os requisitos de qualidade e sustentabilidade.

Diante dessa análise, verificou-se que a ausência de revisão sistemática dos parâmetros de processo foi o fator determinante para a manutenção do consumo energético elevado. A identificação dessa causa raiz direcionou o projeto para a definição de um novo intervalo de temperatura, tecnicamente validado, que assegure tanto a qualidade da lavagem quanto a redução do consumo de energia. Assim, a

partir desse diagnóstico, foram estabelecidas as contramedidas que compõem a situação futura desejada, apresentadas na seção 5.4.

5.4 SITUAÇÃO FUTURA E CONTRAMEDIDAS

A análise detalhada do parâmetro de temperatura da lavadora evidenciou que a configuração original, em 50 °C, resultava em elevado consumo de energia sem uma justificativa técnica atualizada. Observou-se que a solubilização de sujeira com água quente facilita a sua remoção. Contudo, no processo de Inspeção Final, não há etapas de processamento posteriores do produto que exijam a manutenção dessa temperatura elevada. Dessa forma, havia margem para otimização energética sem comprometer a qualidade do processo.

A partir do estudo conduzido, foi possível identificar um intervalo de operação mais adequado, permitindo reduzir significativamente o consumo de energia elétrica. Com base nos dados obtidos na Tabela 1, verificou-se que a operação em 35 °C representa o ponto de equilíbrio entre eficiência energética e garantia da qualidade da limpeza.

Tabela 1 – Dados de temperatura e consumo de energia elétrica

Temperatura (°C)	Consumo (kWh)
20	0
25	0
30	0,05
35	0,80
40	1,73
45	1,73
50	3,30

Fonte: Elaborado pelo autor

Nessa condição, em que a temperatura da lavadora foi ajustada para 35 °C, observa-se não apenas a manutenção da qualidade da limpeza e a conformidade dos produtos, mas também uma redução expressiva no consumo de energia elétrica em relação à configuração original de 50 °C. As medições de consumo elétrico apresentadas referem-se ao consumo instantâneo da resistência durante o ensaio,

obtido por meio de medições pontuais realizadas pelo setor de manutenção. Por se tratar de uma leitura pontual os valores servem como referência comparativa entre as diferentes temperaturas testadas, permitindo identificar o ponto de operação mais eficiente. Com base nesse ponto de operação otimizado, foram definidas as contramedidas apresentadas no Quadro 2, visando garantir a eficiência energética, o controle sistemático dos parâmetros e a capacitação da equipe, promovendo sustentabilidade e padronização operacional na linha de inspeção final.

Quadro 2 – Contramedidas para redução do consumo de energia da lavadora

Problema	Contramedida	Benefício
Temperatura de operação elevada da lavadora (50°C)	Diminuir a temperatura de operação da lavadora (35°C)	Redução do consumo energético mantendo a qualidade da limpeza
Falta de monitoramento sistemático da temperatura	Monitoramento contínuo da lavadora	Garantia da conformidade com os parâmetros e rápida correção de desvios
Ausência de revisão periódica dos parâmetros	Validação periódica dos parâmetros operacionais	Atualização das práticas, alinhando eficiência energética e qualidade

Fonte: Elaborado pelo autor

5.5 PLANO DE AÇÃO

Para garantir a implementação eficaz das contramedidas definidas na situação futura, foi elaborado um plano de ação detalhado que organiza as principais atividades necessárias para reduzir o consumo energético da lavadora e manter a qualidade do processo de lavagem e secagem dos para-brisas. O plano contempla ajustes operacionais, monitoramento contínuo, revisões periódicas e capacitação da equipe, garantindo que as medidas propostas sejam aplicadas de forma consistente e sustentável.

O Quadro 3 apresenta de forma resumida as principais ações do plano. Dessa forma, é possível visualizar de maneira clara como cada etapa contribui para a redução do consumo energético, a manutenção da qualidade do processo e a padronização operacional da lavadora.

Quadro 3 – Plano de ações das contramedidas

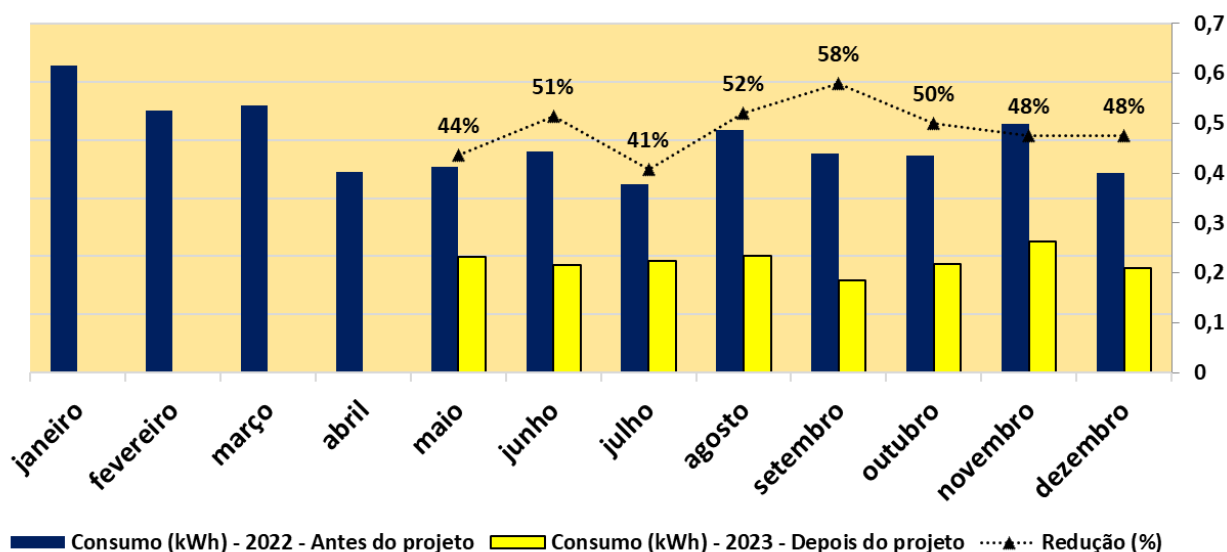
Ação	Responsável	Prazo
Levantamento do consumo em diferentes temperaturas	Engenharia de Processo / Manutenção	Março/2023
Avaliação da qualidade da lavagem com os parâmetros modificados	Engenharia de Processo	Março/2023
Verificação da performance do processo com os parâmetros modificados	Engenharia de Processo	Abril/2023
Definição do ponto ótimo de operação (menor consumo de energia)	Engenharia de Processo	Maió/2023
Atualização do checklist de processo e máquina	Engenharia de Processo	Junho/2023
Treinamento operacional da equipe	Engenharia de Processo / Manufatura	Julho/2023

Fonte: Elaborado pelo autor

5.6 VALIDAÇÃO DO OBJETIVO E ACOMPANHAMENTO

Após a implementação das ações definidas no plano, foi conduzido o processo de validação do objetivo estabelecido, com foco em confirmar a eficácia das contramedidas adotadas e assegurar a sustentabilidade dos resultados alcançados. A validação foi realizada por meio do acompanhamento sistemático dos indicadores de consumo energético da lavadora, comparando os valores obtidos após a mudança de temperatura (35 °C) com os dados históricos de operação a 50 °C, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Comparativo de consumo de energia elétrica da lavadora entre os anos de 2022 e 2023



Fonte: Empresa X (2023).

Os dados coletados demonstraram que a redução da temperatura de operação para 35 °C proporcionou uma diminuição significativa no consumo de energia elétrica, confirmando a efetividade da ação principal. Além disso, verificou-se que a qualidade da lavagem permaneceu dentro dos padrões estabelecidos pela área da Qualidade, sem ocorrência de não conformidades relacionadas à limpeza dos para-brisas.

Durante o acompanhamento, também foram avaliados aspectos relacionados à estabilidade do processo, tempo de ciclo e comportamento térmico da lavadora. As medições indicaram que o novo parâmetro de temperatura não impactou negativamente o tempo total de processamento, mantendo o ritmo produtivo da linha de inspeção final.

5.7 RESULTADO APÓS A UTILIZAÇÃO DO A3

A aplicação da metodologia A3 no estudo de redução do consumo energético no processo de lavagem e secagem de para-brisas apresentou resultados expressivos tanto em eficiência operacional quanto em sustentabilidade. O desenvolvimento do projeto permitiu uma análise estruturada do problema, a definição

de causas raízes e a implementação de contramedidas eficazes, baseadas em dados reais de processo e validações práticas.

Após a aplicação das ações corretivas e ajustes de parâmetro de temperatura da água de lavagem para 35 °C, observou-se uma redução média de 49% no consumo de energia elétrica do sistema de aquecimento, em comparação com o valor de referência inicial de operação a 50 °C. Esse resultado superou a meta estabelecida no início do projeto, comprovando a efetividade das medidas implementadas.

Além da economia de energia, constatou-se que a qualidade do processo de lavagem permaneceu dentro dos padrões exigidos, sem ocorrência de manchas, resíduos ou falhas de limpeza nos para-brisas produzidos. Outro ganho relevante foi a melhoria na estabilidade térmica do processo.

A utilização do A3 proporcionou um aumento da integração entre as áreas de Engenharia de Processo, Manutenção e Produção, promovendo uma abordagem colaborativa na tomada de decisão. O acompanhamento sistemático dos indicadores de desempenho tornou-se parte da rotina operacional, garantindo o controle contínuo da temperatura da água e do consumo elétrico da lavadora.

Em termos de sustentabilidade, o projeto contribuiu diretamente para os objetivos corporativos de eficiência energética e redução de impacto ambiental, além de reforçar a importância da aplicação de metodologias de melhoria contínua no ambiente industrial.

Dessa forma, a utilização do A3 mostrou-se fundamental não apenas para atingir a meta de redução de energia, mas também como ferramenta de padronização, aprendizado organizacional e consolidação da cultura de melhoria contínua na planta.

O relatório A3 completo, contendo todas as etapas detalhadas do desenvolvimento e execução do projeto, é apresentado no Apêndice A.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou plenamente seu objetivo ao aplicar a metodologia A3 de forma estruturada em um projeto de otimização de processo, visando a redução do consumo de energia elétrica na lavadora de vidros laminados da etapa de IF em uma empresa multinacional do setor automotivo.

A utilização da ferramenta A3 se mostrou fundamental para a condução lógica e visual da melhoria, promovendo um diagnóstico aprofundado da situação atual, que identificou a operação contínua da lavadora a 50°C como a causa raiz do elevado consumo energético. Baseado nessa análise, e utilizando o ciclo PDCA em conjunto com a Análise de Ponto de Mudança, foi possível validar tecnicamente a principal contramedida: a implementação de uma faixa de temperatura otimizada para a água de lavagem.

Os resultados demonstraram o sucesso do projeto, uma vez que a alteração do parâmetro operacional proporcionou uma economia média de energia elétrica da ordem de 49%, sem qualquer comprometimento na qualidade do produto, mantendo-se a conformidade com os rigorosos padrões exigidos para vidros automotivos OEM.

Dessa forma, o estudo não apenas resolveu um problema de custo operacional, mas também validou a metodologia A3 como um poderoso instrumento de gestão para a Engenharia Mecânica, capaz de conciliar eficiência produtiva com sustentabilidade corporativa. A aplicação do método reforça a cultura de melhoria contínua e contribui diretamente para os compromissos ambientais da empresa.

REFERÊNCIAS

- ABOLHASSANI, A.; JARIDI, M. Productivity enhancement in North American automotive industry: strategies and techniques to reduce hours-per-vehicle. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Bingley, v. 65, p. 1112–1136, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2015-0117>. Acesso em: 4 maio 2025.
- ABRAVIDRO. Laminados: de camada em camada, eles fazem a força. **O Vidro Plano**, São Paulo, v.51, p. 27–32, 2008. Disponível em: https://abravidro.org.br/wp-content/uploads/revistas/ovidroplano_429_setembro08.pdf. Acesso em: 4 maio 2025.
- AGC. **Environmental product declaration**: laminated glass. Louvain-la-Neuve, 2018. Disponível em: https://www.agc-yourglass.com/sites/default/files/2023-12/EPD_AGC-Laminated_1223_EN.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.
- AGC. **Glass process engineering business**. [S. l.], 2025. Disponível em: https://www.agmc.co.jp/en/category_03/. Acesso em: 4 maio 2025.
- AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. São Carlos: CETEV – Centro de Educação Tecnológica do Vidro, 2000. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/ppqcem/wp-content/uploads/sites/116/2020/06/NaturezaEstrut_Prop_Vidro-Saint-Gobain-2000.pdf. Acesso em: 4 maio 2025.
- ANDERSON, J. S. *et al.* Using Toyota's A3 thinking for analyzing MBA business cases. **Decision Sciences Journal of Innovative Education**, Arizona, p. 275–285, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1540-4609.2011.00308.x>. Acesso em: 4 maio 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9491**: vidros de segurança para veículos automotores — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BATTISTELLA, C. *et al.* How can lean tools support the innovation process of SMEs? **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bingley, v. 34, p. 1004–1024, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2022-0449>. Acesso em: 4 maio 2025.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**, Bingley, v. 34, n. 7, p. 876–940, 2014.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução CONTRAN nº 960, de 17 de maio de 2022. Dispõe sobre os requisitos de segurança de vidros, a visibilidade para fins de circulação, o uso de vidros em veículos blindados e o uso de medidores de transmitância luminosa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2022, seção 1, p. 442.

CANTINI, A. *et al.* Driving corporate digitization with reliable data through the A3 approach: an Italian case study. **International Journal of Lean Six Sigma**, Bingley, v. 15, p. 143–170, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2024-0055>. Acesso em: 4 maio 2025.

CHABUKSWAR, R. **From raw material to finished product**: material, design and process of automotive glass. [S.l.], 2024. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4971138>. Acesso em: 4 maio 2025.

GAN. **Laminated glazing reference manual**. Topeka: Glass Association of North America, 2009.

GIACOMINI, E. **Material o vidro**. 2008. Dissertação (Mestrado em Construções de Edifícios – Tecnologias de Fachadas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008.

GUARDIAN GLASS. **Environmental product declaration**: laminated flat glass – LamiGlass® EU. Bertrange, 2024. Disponível em: https://documentacion.generadordeprecios.info/documentaciontecnica/guardian/guardian_lamig_dap.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.

KEHR, T. W.; PROCTOR, M. D. People pillars: re-structuring the Toyota Production System (TPS) house based on inadequacies revealed during the automotive recall crisis. **Quality and Reliability Engineering International**, Orlando, v. 33, p. 921–930, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qre.2059>. Acesso em: 4 maio 2025.

LIKER, K. **Toyota way**: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2021.

MARSHALL JUNIOR, I. *et al.* **Gestão da qualidade**. 9. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008.

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MUOTKA, S. *et al.* A design thinking approach: applying 5S methodology effectively in an industrial work environment. **Procedia CIRP**, Lappeenranta v. 119, p. 363–370, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.103>. Acesso em: 4 maio 2025.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

RIBEIRO, D. *et al.* **Melhoria de processos usando ferramentas Lean Production numa empresa de cartonagem**. Braga: Universidade do Minho, 2019.

SAVINEAU, G. F. Fundamentals of laminating process and quality requirements. *In*: GLASS PROCESSING DAYS, 1997, Tampere. **Anais [...]**. Tampere: GPD, 1997.

SHELBY, J. E. **Introduction to glass science and technology**. 2. ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHOOK, J. **Gerenciando para o aprendizado**: usando um processo de gerenciamento A3 para resolver problemas, promover alinhamento, orientar e liderar. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.

SHOOK, J. Toyota's secret: the A3 report. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v. 50, n. 4, 2009. Disponível em: <https://www.sloanreview.mit.edu/article/toyotas-secret-the-a3-report/>. Acesso em: 4 maio 2025.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: LED/UFSC, 2005.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOBEK II, D. K.; SMALLEY, A. **Entendendo o pensamento A3**: um componente crítico do PDCA da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2010.

TORTORELLA, G. *et al.* Hoshin Kanri and A3: a proposal for integrating variability into the policy deployment process. **The TQM Journal**, Bingley, v. 31, p. 118–135, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2018-0076>. Acesso em: 4 maio 2025.

WAHAB, A. *et al.* A conceptual model of lean manufacturing dimensions. **Procedia Technology**, Bangi, v. 11, p. 1292–1298, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>. Acesso em: 4 maio 2025.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**: a história da produção enxuta — a arma secreta da Toyota na guerra global de automóveis que agora está revolucionando a indústria mundial. Nova York: Simon and Schuster, 2007.

ZALA, S. H. *et al.* Application of lean six sigma tools for performance improvement in an automobile sector SME. **SSRG International Journal of Mechanical Engineering**, Trichy, v. 11, n. 7, p. 1–12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V11I7P101>. Acesso em: 4 maio 2025.

8QUALI. **O que realmente é e de onde surgiu o 5S?** [S. l.], 2025. Disponível em: <https://8quali.com.br/o-que-realmente-e-e-de-onde-surgiu-o-5s/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

