

MELHOR APROVEITAMENTO NO CORTE DE CHAPAS: ESTUDO EM ENCARROÇADORA

Arilson Botazini dos Santos¹; Rodney Zanol¹; Ryan Lázaro de Siqueira Assunção¹;
Daniela Luz Leite²

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica – Multivix São Mateus/ES

²Mestre/Engenheira Química/Docente – Multivix São Mateus/ES

RESUMO

O presente estudo versa sobre o reordenamento técnico do processo de corte de chapas de aço em uma indústria encarroçadora no norte do Espírito Santo. Justifica-se no impacto econômico da gestão ineficiente de insumos metálicos, que causa desperdício de matéria-prima e prejuízos logísticos, responsáveis por perdas superiores a 20% no setor. O uso racional de recursos também se alinha à responsabilidade ambiental e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Portanto, buscou-se validar uma metodologia de corte afim de maximizar a eficiência produtiva, sob a ótica da Engenharia Mecânica. Adotou-se um estudo de caso qualitativo. O uso do Diagrama de Pareto permitiu identificar que 78% das 1.496 chapas descartadas em um mês se deviam a problemas de redimensionamento e programação de corte. A intervenção técnica envolveu a reconfiguração do plano de corte, o redimensionamento de chapas e o uso de modelagem matemática para otimização. A proposta técnica gerou uma economia global de R\$ 1.751.276,32 para a produção de 2.500 unidades do modelo de ônibus analisado. O aproveitamento em componentes críticos, como o assoalho xadrez, aumentou de 79% para 96%. Os dados indicam que a matéria-prima foi utilizada de forma produtiva e eficaz, com as sobras organizadas por tamanho, e o melhoramento do *layout*. Portanto, com o apoio das habilidades técnicas e operacionais que a Engenharia Mecânica oferece, realizou-se um projeto sustentável que alcançou uma vasta economia nos custos do processo.

Palavras-chave: chapas de Aço; encarroçadora; ônibus; diagrama de Pareto; reaproveitamento de chapas.

ABSTRACT

This study addresses the technical reorganization of the steel sheet cutting process in a bus body manufacturing industry in northern Espírito Santo. It is justified by the economic impact of inefficient management of metallic inputs, which causes waste of raw materials and logistical losses, responsible for losses exceeding 20% in the sector. The rational use of resources is also aligned with environmental responsibility and the Sustainable Development Goals (SDGs). Therefore, the aim was to validate a cutting methodology in order to maximize productive efficiency, from a Mechanical Engineering perspective. A qualitative-quantitative case study was adopted. The use of the Pareto Diagram allowed us to identify that 78% of the 1,496 sheets discarded in one month were due to problems with resizing and cutting scheduling. The technical intervention involved reconfiguring the cutting plan, resizing sheets, and using mathematical modeling for optimization. The technical proposal generated overall savings of R\$ 1,751,276.32 for the production of 2,500 units of the analyzed bus model. The utilization of critical components, such as the checkered floor, increased from 79% to 96%. The data indicate that raw materials were used productively and efficiently, with leftover materials organized by size, and the layout improved. Therefore, with the support of the technical and operational skills offered by Mechanical Engineering, a sustainable project was carried out that achieved significant cost savings in the process.

Keywords: steel sheets; bodywork manufacturer; bus; Pareto diagram; sheet metal recycling.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por processos industriais mais eficientes impõe desafios que envolvem vários fatores ao engenheiro mecânico, especialmente na manipulação de matérias-primas metálicas.

Nesse sentido, o presente estudo versa sobre o reordenamento técnico do processo de corte de chapas de aço no âmbito de uma indústria encarroçadora situada no norte do Espírito Santo, objetivando a mitigação de perdas por meio de abordagens analíticas, estruturadas sob os pilares da engenharia da manufatura (Kalpakjian; Schmid, 2018) ramo da engenharia que se dedica ao estudo, desenvolvimento e aperfeiçoamento de processos de fabricação, com foco em

transformar matérias-primas em produtos acabados da forma mais eficiente possível, com qualidade, segurança e custos controlados e da produção enxuta, uma filosofia de gestão desenvolvida originalmente pelo Sistema Toyota de Produção, que visa eliminar desperdícios, melhorar a eficiência e aumentar o valor para o cliente (Shingo, 1996).

Nesse ínterim, a partir da constatação de desperdícios substanciais no processo fabril, a presente pesquisa propõe um modelo de intervenção pautado em fundamentos técnicos e operacionais, explorando a atuação estratégica do engenheiro mecânico na reconfiguração do plano de corte.

A relevância desta pesquisa fundamenta-se em dois pilares estratégicos: o impacto econômico decorrente da gestão ineficiente de insumos metálicos, especialmente chapas de aço, e a necessidade premente de inovação operacional em setores produtivos inseridos em ambientes altamente competitivos e dinâmicos. A engenharia mecânica, por sua natureza multidisciplinar, oferece ferramentas analíticas e práticas capazes de reverter perdas, aumentar a eficiência e promover soluções sustentáveis e tecnicamente sólidas.

A má utilização de chapas metálicas implica não apenas desperdício de matéria-prima, mas também prejuízos logísticos, retrabalhos e aumento do custo por unidade produzida fatores que reduzem a competitividade de empresas, especialmente aquelas com margens operacionais estreitas. Segundo dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), perdas industriais superiores a 20% no corte de materiais metálicos são comuns em empresas que não aplicam estratégias otimizadas de *layout* ou automação (CNI, 2022). Esse cenário evidencia a urgência de se repensar os métodos atuais, priorizando abordagens baseadas em dados, simulações computacionais e práticas de engenharia *lean*. Além disso, a produção brasileira de fundidos recuou 9,4% em 2023 em comparação com o ano anterior, totalizando 2,69 milhões de toneladas, o que demonstra uma subutilização da capacidade instalada e reforça a necessidade de otimização dos processos produtivos.

A justificativa também ganha força à luz das exigências do mercado contemporâneo, que demanda qualidade elevada, prazos curtos e custos reduzidos num tripé difícil de sustentar sem reestruturação técnica. A engenharia mecânica, por sua natureza multidisciplinar, reúne conhecimentos essenciais como análise de tensões, comportamento mecânico dos materiais, programação de corte e

integração com *softwares* CAD/CAM. Esses elementos, quando utilizados de forma estratégica, permitem ao engenheiro não apenas executar, mas repensar os processos produtivos, eliminando desperdícios ocultos, reduzindo variabilidades e otimizando o desempenho global do sistema, conforme destacam Kalpakjian e Schmid (2018).

De acordo com Veiga (2016), o engenheiro mecânico atua como elo entre a teoria e a prática produtiva, sendo responsável por modernizar processos e a por integrar a tecnologia nas indústrias. Destaca-se que a eficiência no uso de insumos metálicos extrapola a questão financeira e assume o papel de indicador da maturidade tecnológica e da responsabilidade ambiental de uma organização. Em tempos nos quais a sustentabilidade se firma como norteadora da produção industrial, o uso racional de recursos naturais — como o aço, cuja produção envolve altos custos energéticos e ambientais — torna-se imperativo. Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2024), a redução na produção nacional de fundidos nos últimos anos evidencia a necessidade de otimização dos processos produtivos e melhor aproveitamento dos insumos.

Nesse contexto, a gestão adequada desses recursos dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ambos recomendados pela ONU. Assim, a figura do engenheiro mecânico ganha centralidade por sua capacidade técnica de operar sistemas complexos e também por seu papel estratégico na construção de processos produtivos enxutos, precisos e sustentáveis. Como ressalta Marson (2014), a aplicação de métodos modernos de fabricação e o uso racional dos materiais são fundamentais para a competitividade e sustentabilidade industrial. O domínio sobre métodos de corte, aproveitamento de matéria-prima, simulação computacional e análise de perdas o qualifica como protagonista na transição da manufatura tradicional para uma manufatura inteligente, eficiente e ambientalmente consciente.

Portanto, essa investigação justifica-se como uma contribuição significativa tanto para a eficiência operacional das indústrias quanto para o avanço da engenharia como ciência aplicada à sustentabilidade e à competitividade global.

A investigação se circunscreve à análise técnico-produtiva do processo de corte de chapas metálicas, em um contexto fabril situado no norte do Espírito Santo. Sendo assim, a delimitação recai sobre as operações de transformação mecânica da

matéria-prima no setor de produção, com foco na proposição de um plano de corte racionalizado e tecnicamente viável, compatível com os requisitos estruturais da carroceria veicular.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como base a seguinte questão: De que maneira o engenheiro mecânico pode, por meio de intervenção técnica fundamentada, contribuir para o incremento da eficiência no aproveitamento de chapas metálicas em uma indústria encarroçadora de ônibus? Até mesmo porque, como cita Chagas (2020a, p. 6), “a redução de gastos desnecessários e o crescimento da conscientização ambiental, são fatores que impactam diretamente na decisão de grandes empresas a buscar novas formas de melhorar o aproveitamento de matéria-prima em suas fábricas.”

Dessa forma, a otimização dos processos de corte, aliada ao uso eficiente dos materiais, não apenas reduz custos operacionais, mas também promove um impacto ambiental positivo, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade. Portanto, o engenheiro mecânico, com seu enfoque técnico e multidisciplinar, tem o potencial de implementar soluções inovadoras que integrem os conceitos de produção enxuta, gestão de resíduos e redução de desperdícios, contribuindo para a competitividade e a modernização das indústrias no cenário atual. Nesse contexto, o profissional se torna um agente de extrema importância na reconfiguração dos processos produtivos, desempenhando um grande papel na maximização do aproveitamento das chapas metálicas e na busca pela excelência operacional.

Considera-se que a implementação de um plano técnico de corte, desenvolvido a partir da aplicação de ferramentas da engenharia da qualidade e do conhecimento em Engenharia Mecânica, permitirá a redução significativa das perdas de matéria-prima no processo produtivo. Tal abordagem será capaz de otimizar o uso das chapas metálicas, garantindo a preservação das características mecânicas e estruturais do material, sem comprometer os requisitos técnicos e funcionais dos componentes fabricados.

Além disso, espera-se que essa intervenção leve à melhoria da eficiência operacional, com impactos positivos nos custos de produção, sem afetar a qualidade ou a segurança dos produtos finais, alinhando-se aos princípios da produção e sustentabilidade industrial.

Com o objetivo de propor e validar uma metodologia de corte de chapas metálicas que maximize a eficiência produtiva em uma indústria encarroçadora, sob a ótica técnica da Engenharia Mecânica, necessita-se de:

- Diagnosticar, por meio de análise empírica e documental, os principais pontos de perda no processo atual;
- Modelar um novo arranjo de corte tecnicamente fundamentado, respeitando os limites mecânicos do material;
- Aplicar ferramentas de análise da qualidade na estruturação e validação das melhorias propostas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As atribuições legais e técnicas do engenheiro mecânico abrangem desde o dimensionamento de estruturas até o planejamento de processos de fabricação. Em ambientes industriais complexos, sua atuação requer visão sistêmica, domínio técnico e responsabilidade quanto à segurança, viabilidade e inovação. Segundo Veiga (2016), esse profissional deve operar como elo entre a teoria aplicada e a operação produtiva. Isso posto, destaca-se a importância desse profissional na atuação desse tipo de serviço e no estudo aprofundado das técnicas aqui citadas.

Sendo assim, a atividade industrial, especialmente no setor metalomecânico, é intrinsecamente associada à eficiência no uso de insumos. Conforme Marson (2014) a evolução tecnológica aplicada à manufatura propiciou o desenvolvimento de métodos avançados de corte, como o corte a *laser*, cujos parâmetros operacionais, potência, velocidade e frequência devem ser ajustados conforme a resistência específica do material. A Engenharia Mecânica fornece a base teórica para a escolha das melhores condições de corte, a fim de preservar a integridade das chapas e maximizar seu uso.

Dito isso, é importante destacar que a otimização de chapas metálicas é uma prática essencial na engenharia mecânica moderna, exigindo não apenas o domínio do comportamento dos materiais sob solicitação, mas também a aplicação de modelagem matemática avançada e o uso de softwares CAD/CAM. Negligenciar o *layout* de corte pode resultar em perdas significativas de matéria-prima, impactando diretamente nos custos de produção. Com base nisso, estudos

recentes têm aprofundado a compreensão sobre as melhores práticas na otimização de cortes em chapas metálicas. Por exemplo, Chagas (2020b) desenvolveu um método para otimizar o planejamento de produção de peças que utilizam corte de chapas metálicas, focando na redução de custos e resíduos. Esse método considera a possibilidade de estocar um número definido de peças, permitindo um melhor aproveitamento das chapas e, conseqüentemente, uma diminuição no desperdício de material.

Além disso, a integração de *softwares* especializados tem se mostrado muito importante nesse processo. O uso de ferramentas como o Corte Certo permite a otimização do plano de corte, maximizando o aproveitamento da matéria-prima e reduzindo perdas. Esses *softwares* utilizam algoritmos avançados para definir a melhor disposição das peças nas chapas, considerando variáveis complexas e minimizando o risco de erros humanos. A aplicação de técnicas de otimização também se estende ao sequenciamento de corte, onde a ordem das operações influencia diretamente no tempo de produção, consumo de energia e desgaste das máquinas. Um sequenciamento eficiente, planejado por *softwares* especializados, garante que a máquina opere com os melhores parâmetros para cada etapa do corte, reduzindo o tempo de inatividade e maximizando a produtividade.

Portanto, cabe ao engenheiro mecânico compatibilizar formas geométricas, forças atuantes e economia de escala, com ferramentas avançadas e metodologias atualizadas para garantir a eficiência e sustentabilidade no processo de corte de chapas metálicas.

O Sistema Toyota de Produção (STP) é amplamente reconhecido como um modelo de gestão industrial voltado à eficiência operacional, sendo um dos pilares da chamada manufatura enxuta (*lean manufacturing*). Ele surgiu no Japão no período pós-guerra como uma resposta à escassez de recursos e à necessidade de produzir com alta qualidade e baixo custo. Seu criador, Taiichi Ohno (1997), enfatizava que a chave para o sucesso produtivo está na eliminação sistemática de desperdícios ao longo do processo fabril.

Nesse sentido, o STP tem como base a seguinte premissa: em vez de focar apenas no aumento da produtividade ou na expansão da capacidade produtiva, a remoção de tudo o que não agrega valor ao produto final deve ser valorizado. Isso inclui excessos de produção, movimentações desnecessárias, estoques mal gerenciados, retrabalhos e tempos de espera. A eliminação dessas ineficiências

proporciona, como resultado, a redução de custos e o aumento da qualidade e da satisfação do cliente.

Ohno (1997) concebeu o STP com base em dois princípios fundamentais: o *Just-in-Time* (JIT), que visa produzir exatamente o necessário, no momento certo e na quantidade correta, e a automação (Jidoka), que introduz a inteligência nas máquinas para parar automaticamente diante de problemas. Essa filosofia permite que a produção seja continuamente ajustada às demandas, ao mesmo tempo em que garante o controle de qualidade em tempo real.

Segundo Ghinato (2023), um dos estudiosos brasileiros mais respeitados na área de produção enxuta, o STP não é apenas um conjunto de ferramentas técnicas, mas sim uma filosofia de trabalho que promove o aprendizado contínuo, a padronização e a busca pela perfeição. Ele destaca, ainda, que a cultura organizacional baseada em respeito pelas pessoas e melhoria contínua (Kaizen) é tão importante quanto os métodos produtivos adotados. Nesse ínterim, nos últimos anos, pesquisadores e profissionais da indústria têm adaptado os princípios do STP a contextos diversos, inclusive fora da manufatura.

Ribeiro (2021) observa, por exemplo, que os conceitos do sistema Toyota vêm sendo incorporados na construção civil, com impactos positivos na coordenação logística de canteiros de obras, na redução de desperdícios de materiais e na melhoria do fluxo de trabalho. A aplicação do *Kanban* para controle visual, do mapeamento de fluxo de valor (VSM) e do *heijunka* (nivelamento da produção) tem contribuído para a previsibilidade e regularidade nos serviços, mesmo em ambientes complexos.

Nesse contexto, o engenheiro mecânico torna-se figura central para a implementação bem-sucedida dessa abordagem. Com sua formação técnica e visão sistêmica, esse profissional é responsável por alinhar os objetivos da produção com a realidade da cadeia de suprimentos, integrando ferramentas como o Just-in-Time (JIT), o Kaizen, o Kanban e os indicadores de desempenho (KPIs). De acordo com Ghinato (2023), a eficácia do Sistema Toyota de Produção depende diretamente da capacidade das organizações em promover o aprendizado contínuo e o envolvimento das pessoas, consolidando uma cultura baseada na padronização e na busca pela perfeição.

Além disso, conforme Ribeiro (2021) a aplicação dos princípios do STP tem se expandido para diversos setores produtivos, mostrando-se eficaz na redução de

desperdícios e na melhoria do fluxo de trabalho, especialmente quando associada a práticas de gestão visual e nivelamento de produção (*heijunka*). Nessa perspectiva, o engenheiro mecânico desempenha papel essencial na análise crítica de processos, na liderança de equipes multidisciplinares e no uso de tecnologias de informação para rastrear, controlar e otimizar o fluxo de materiais e informações.

Como destacam Oliveira, Mendes e Costa (2018) a implantação da filosofia *lean* em ambientes industriais depende da integração entre tecnologia e cultura organizacional, unindo práticas como o *Kaizen* e o *JIT* a sistemas digitais de monitoramento e controle. Sendo assim, a aplicação bem orientada do STP permite não apenas aumentar a eficiência e a competitividade industrial, mas também criar uma cultura organizacional orientada à excelência. Em um cenário de transformação digital, a filosofia *lean* continua relevante, sendo fortalecida pelo uso de *softwares* de simulação, análise de dados em tempo real e sistemas ciberfísicos, que ampliam a capacidade de resposta e a inteligência operacional das empresas.

O ciclo PDCA — acrônimo de *Plan, Do, Check, Act* — é um método iterativo voltado para a melhoria contínua de processos, e sua aplicação na engenharia mecânica tem se mostrado altamente eficaz na gestão da qualidade, manutenção e produtividade industrial. Sua estrutura permite uma abordagem sistemática para resolver problemas, monitorar indicadores de desempenho e promover a padronização de processos produtivos.

Na primeira etapa, Planejar (*Plan*), o foco está na identificação do problema, análise das causas e definição de metas claras. Ferramentas como o Diagrama de Ishikawa (também conhecido como espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito) e o *Brainstorming* estruturado são frequentemente aplicados para levantar hipóteses sobre as origens de falhas ou gargalos nos processos. Essa fase exige forte embasamento técnico por parte do engenheiro mecânico, que deve considerar variáveis como tolerância de fabricação, condições operacionais e interferências no sistema.

A seguir, na fase de Execução (*Do*), as ações planejadas são implementadas em pequena escala ou em áreas-piloto, permitindo um teste controlado de suas consequências. Nesse momento, recursos como folhas de verificação, instruções de trabalho padronizadas e cronogramas operacionais são utilizados para garantir conformidade com o plano estabelecido. Na etapa “Verificar” (*Check*), os resultados obtidos são analisados com base em indicadores previamente definidos. A

comparação entre os dados reais e as metas permite avaliar a eficácia das ações. Gráficos de controle estatístico, análise de tendência e histogramas são ferramentas úteis para apoiar essa avaliação. Por fim, a fase final, “Agir” (*Act*), trata da padronização das melhorias bem-sucedidas ou da reformulação do plano em caso de desvios significativos. Aqui, o engenheiro deve registrar as lições aprendidas, revisar procedimentos e treinar os operadores para garantir a manutenção da melhoria ao longo do tempo.

Complementarmente, a ferramenta 5W2H é integrada ao ciclo PDCA para estruturar os planos de ação com clareza e objetividade. Por meio das perguntas *What, Why, Where, When, Who, How e How Much*, é possível detalhar cada etapa das intervenções, distribuindo responsabilidades e prazos com maior precisão. Essa metodologia contribui diretamente para a eficiência na implementação e no acompanhamento dos planos.

A relevância do PDCA na engenharia mecânica vem sendo confirmada em diversas publicações recentes. Depieri (2023) relata a aplicação bem-sucedida do PDCA em conjunto com o Diagrama de Ishikawa para reduzir perdas de varredura em uma indústria alimentícia, alcançando uma queda de 14,1% nas perdas e melhorando o faturamento anual.

Já Fernandes et al. (2020) demonstram que, mesmo em ambientes de pequeno porte, como oficinas mecânicas, a utilização do ciclo promove a organização das atividades e eleva a qualidade percebida pelo cliente. Além disso, em contextos de engenharia da manutenção, o ciclo PDCA é utilizado para aprimorar rotinas de inspeção, reduzir o tempo médio entre falhas (MTBF) e aumentar o tempo médio entre reparos (MTTR). Sistemas de gestão da manutenção assistidos por software (CMMS) permitem associar os dados coletados ao ciclo PDCA, facilitando a tomada de decisão baseada em evidências.

Atualmente, com a ascensão da Indústria 4.0, o PDCA passa a operar de forma integrada com tecnologias digitais, como sensores inteligentes, análise de dados em tempo real e sistemas ciberfísicos. Isso possibilita uma aplicação mais ágil e precisa da metodologia, permitindo a correção quase imediata de desvios e a detecção antecipada de falhas.

Segundo Oliveira (2022) a combinação do PDCA com ferramentas de *Business Intelligence* (BI) e Internet das Coisas (IoT) fortalece sua capacidade de resposta e seu potencial de transformação nos sistemas produtivos.

Portanto, o ciclo PDCA, por sua versatilidade, baixo custo e aplicabilidade prática, permanece como uma das ferramentas mais relevantes da engenharia mecânica contemporânea. Sua utilização correta não só conduz à resolução estruturada de problemas, mas também contribui para a consolidação de uma cultura organizacional voltada à excelência operacional e à inovação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo combina uma abordagem empírica com rigor técnico, com o objetivo de validar, em um ambiente fabril real, um modelo de otimização do processo de corte de chapas metálicas. A escolha dessa abordagem está fundamentada na necessidade de integrar teoria e prática para alcançar resultados significativos em contextos industriais reais, como explica Gil (2008), que destaca a importância de uma metodologia “que articule a observação direta com a análise quantitativa, visando a compreensão profunda do fenômeno estudado e a aplicação de soluções práticas”.

Nesse sentido, o delineamento metodológico foi cuidadosamente estruturado para integrar a fundamentação teórica, a observação sistemática das operações e a análise técnico- quantitativa dos dados coletados. Assim, buscou-se proporcionar uma avaliação rigorosa das intervenções propostas, alinhando-se com os princípios da pesquisa aplicada, em que se busca, a partir da observação empírica, validar teorias e proposições previamente estabelecidas. Desse modo, esse processo visa garantir a relevância e aplicabilidade dos resultados no contexto estudado, refletindo diretamente nas melhorias práticas observadas no processo de produção.

Além disso, a pesquisa reveste-se de caráter aplicado, na medida em que objetiva a resolução de um problema concreto, advindo da prática industrial. Quanto à abordagem, adota-se um modelo quali-quantitativo, compreendendo tanto a análise interpretativa dos processos operacionais quanto a quantificação das perdas e ganhos relativos à intervenção técnica.

Por fim, este trabalho possui natureza exploratória, por buscar ampliar o conhecimento sobre a realidade produtiva observada; descritiva, ao retratar os aspectos operacionais do processo de corte; e explicativa, por propor uma intervenção e avaliar seus efeitos. Em termos de meios, opta-se por um estudo de

caso único, ancorado em observação direta e coleta sistemática de dados na linha de produção de uma indústria encarroçadora de médio porte.

O foco analítico concentra-se sobre o setor de corte de chapas metálicas, localizado no pavilhão produtivo principal da empresa em questão, situada no norte do Espírito Santo. A amostra delimitada compreende as operações realizadas durante o período de um mês, incluindo registros de refugo, medições de aproveitamento e reuniões técnicas com operadores e engenheiros do setor.

A coleta de dados ocorrerá por meio de observação direta das operações de corte; registros fotográficos e planilhas de controle interno da empresa; análise documental de relatórios de perdas

Essas informações foram organizadas e tratadas com apoio de ferramentas gráficas e estatísticas, em conformidade com os preceitos da engenharia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A fim de preservar o nome da empresa analisada, esse trabalho adotou o título Indústria de Encarroçadora de Ônibus situada no Norte de São Mateus/ES. A Indústria supracitada, é uma multinacional brasileira, em expansão, respeitada e reconhecida no mercado. Possui treze fábricas ao redor do mundo, atuando em todos os mercados de ônibus atendendo as mais variadas necessidades e desafios que os clientes lhe apresentam, personalizando seu produto de acordo com as características dos locais onde serão utilizados os veículos.

Atualmente sua capacidade produtiva é de aproximadamente 15 ônibus por dia, onde se busca principalmente atingir as metas propostas através do SQDC (Segurança, Qualidade, Entrega e Custos).

Tem como filosofia de desenvolvimento o STP, uma vez que a produção trabalha com o sistema puxado entre os postos visando atender o posto seguinte (cliente) com o a melhor qualidade e o menor prazo possível de acordo com o JIT.

Os pesquisadores realizaram 4 visitas técnicas no setor de corte de chapas de aço, no qual foi permitido tirar fotos, assim como elaborar reunião de treinamento da equipe.

Na Indústria da pesquisa, em primeira visita técnica realizada pelos autores, constatou-se que as equipes responsáveis pelo setor de cortes das chapas de aço faziam todo o procedimento operacional sem se atentarem para as chapas de aço que sobravam. De forma que, estas ficavam espalhadas pelo chão do setor, sem organização; ou seja, os funcionários não se preocupavam em separá-las por tamanhos para serem mais bem aproveitadas. A primeira fase da Otimização é compreender o problema de uma forma geral e não específica, por exemplo, olhar para o ambiente de trabalho e observar a disposição das chapas de aço de maneira desordenada como mostra a Figura 1.

Figura 1: Sobras de Chapas de Aço na Empresa da Pesquisa



Fonte: Próprios autores, 2025.

Na fase seguinte realizou-se a modelagem do problema, onde há uma construção de um método matemático, dando sustentabilidade e suporte para resolver o problema, sendo conceituada de “programação linear”. Esta, consiste em utilizar equações de primeiro grau e outras para otimizar valores que estão maximizados ou minimizados.

4.2 DIAGRAMA DE PARETO COMO FERRAMENTA DE QUALIDADE

Esta fase representa a segunda fase da Otimização que é propor um método gráfico e sua aplicabilidade, permitindo a visualização do modelo matemático, criando uma região de soluções formada em um modelo linear conjunto das possíveis soluções do problema, isto é, o conjunto de pontos que obedecem ao grupo de restrições impostas pelo sistema em estudo. Porém, valorizando os

materiais no estoque, planejamento das ações e uma verificação sistemática. Foi utilizado o método gráfico por entender da complexidade das ações e a possibilidade de visualização, para assim, identificar e avaliar o desempenho (Moura *et al*, 2019 p.5).

A falta da otimização poderá se tornar um agravante na efetivação quando se trata de melhor aproveitamento, por isso, entender este processo e suas fases contribuirá neste projeto. Assim, nesta segunda fase pode-se dizer que o Diagrama de Pareto foi utilizado para determinar quais dos problemas devem ser priorizados, para não se desviar a outros assuntos irrelevantes ao projeto.

No caso, o problema no dimensionamento da matéria prima e dos planos de cortes das placas de aço são prioritários para a pesquisa como demonstra a Figura 2.

Figura 2: Diagrama de Pareto



Fonte: Próprios autores, 2025.

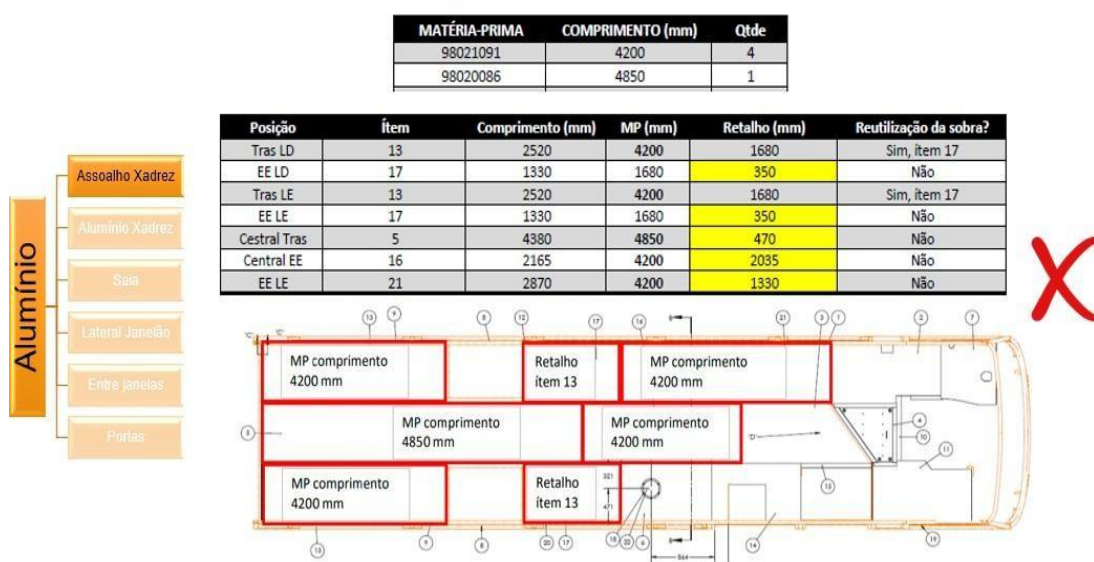
Sendo assim, constata-se que, no decorrer de um mês obteve-se 1.496 chapas descartadas sendo: 646 referentes a problemas de redimensionamento de matéria prima e 528 referentes a problemas de programação (plano de corte). No qual o percentual total foi de 78%.

Outros problemas como de projetos, ocasionados por erros na criação do projeto por parte da engenharia (7%); erros na dobra, ocasionados no setor subsequente fazendo com que a peça seja descartada como sucata (5%); erro operacional ocasionados pelo operador da máquina de corte a laser (5%) e erro de corte térmico, ocasionados pela própria máquina (4%), não serão tratados nesse estudo devido seu baixo percentual de ocorrências.

Observando a Figura 3 é priorizado a interatividade, permitindo a busca de solução, através do método gráfico utilizado que contou com a programação de um software voltado para ajudar no gerenciamento e na automatização de corte de chapas (matéria prima). Como exemplo de uma ferramenta de Qualidade segundo o autor Aguiar (2006), têm-se o método PDCA de controle de processos ou sistemas para atingir as metas necessárias à sobrevivência das empresas. Sua composição inclui: PLAN (planejamento), DO (execução), CHECK (verificação) e ACTION (ação).

Figura 3: Assoalho do Ônibus Atual

ESTADO ATUAL



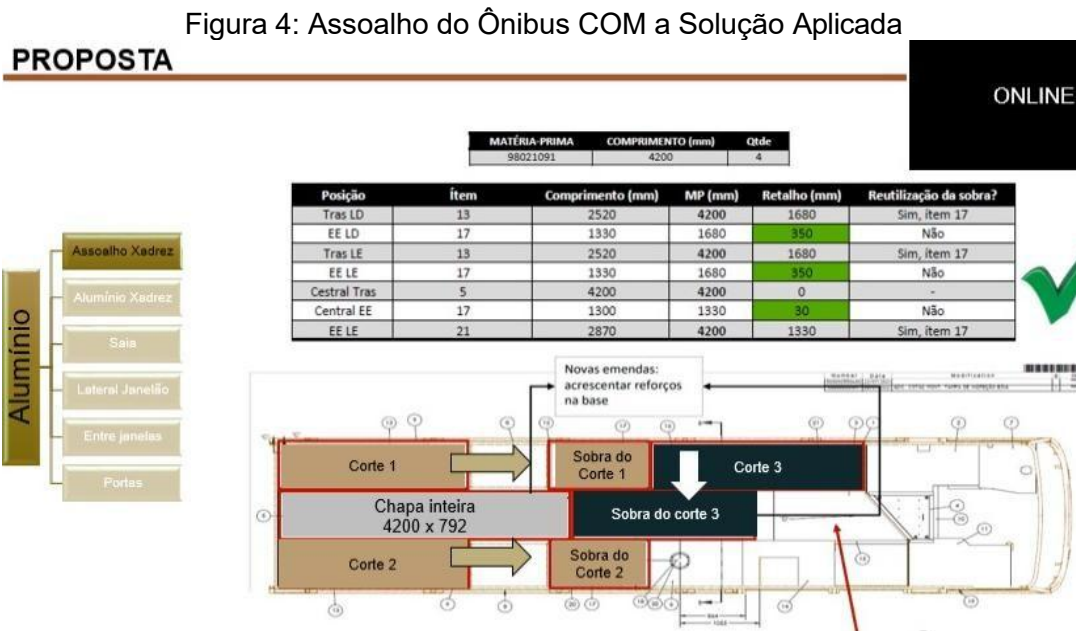
Fonte: Próprios autores, 2025.

São apresentadas as chapas de aço e os problemas de redimensionamento de matéria prima e do plano de corte da empresa; sua disposição interna do assoalho do ônibus, onde se dispõe de dois códigos com diferentes comprimentos da mesma matéria prima utilizada.

Nota- se que esse plano de corte gera sobras no processo que não podem ser aproveitadas para gerar outras peças fazendo assim com que seja necessário um gasto maior com matéria prima e conseqüentemente a diminuição do lucro final.

Assim, a solução aplicável está na Figura 4, que demonstra a solução aplicável para diminuir as sobras de chapas de aço, onde dispõe apenas um código de matéria prima cujo propósito final de diminuir as perdas. É utilizado também, acréscimo de alguns reforços na estrutura, fazendo com que as sobras diminuam

drasticamente. Isto quer dizer, que a maior sobra sem aproveitamento seja de 4200 mm x 350 mm.



Fonte: Próprios autores, 2025.

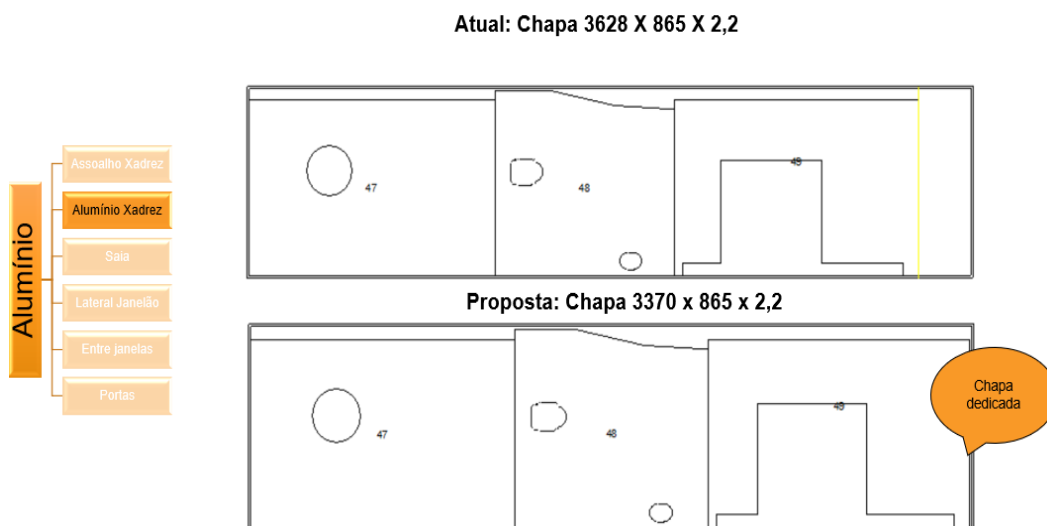
Observando a Figura 5, têm-se o comprimento da Chapa de Aço utilizada no Posto de Motorista com dimensão de 3628 x 885 x 2,2.

Após a solução aplicada para melhor aproveitamento houve um redimensionamento da matéria prima, no qual seu comprimento passou para 3370 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Pode-se notar que a alteração, nesse caso, foi na largura da chapa passando de 1150 mm para 1000 mm (Figura 6), fazendo com que seja o aproveitamento da chapa passasse de 74,41% para 85,58% (Figura 7), obtendo uma economia de R\$ 182.677,33 nos 2500 ônibus produzidos. Na Solução aplicada para a saia do ônibus conforme a Figura 6, houve uma alteração do modo que foram dispostas as peças pequenas (sobras) no espaço, de forma que obteve um melhor aproveitamento da chapa de aço.

Figura 5: Solução Aplicada no Comprimento (Posto Motorista)

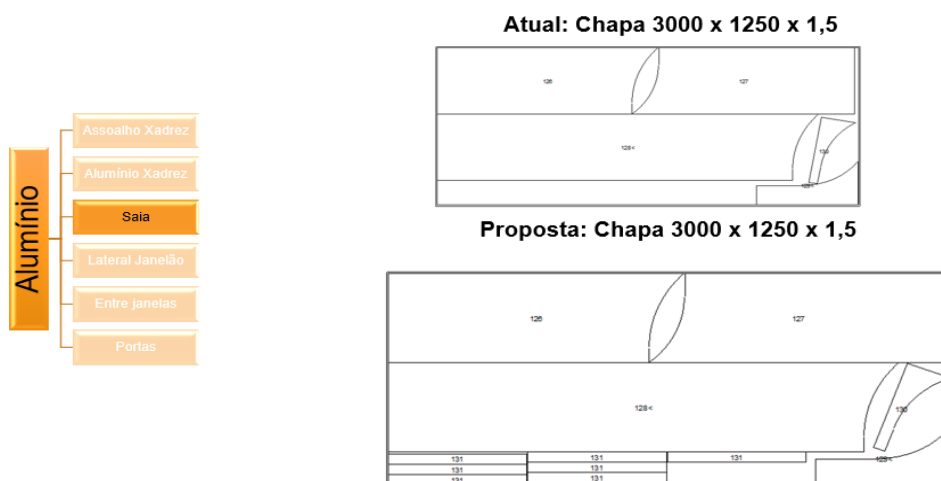
PROPOSTA – Posto Motorista



Fonte: Próprios autores, 2025.

Figura 6: Solução Aplicada no Aproveitamento da Chapa de Aço (Saia)

PROPOSTA – Next 2

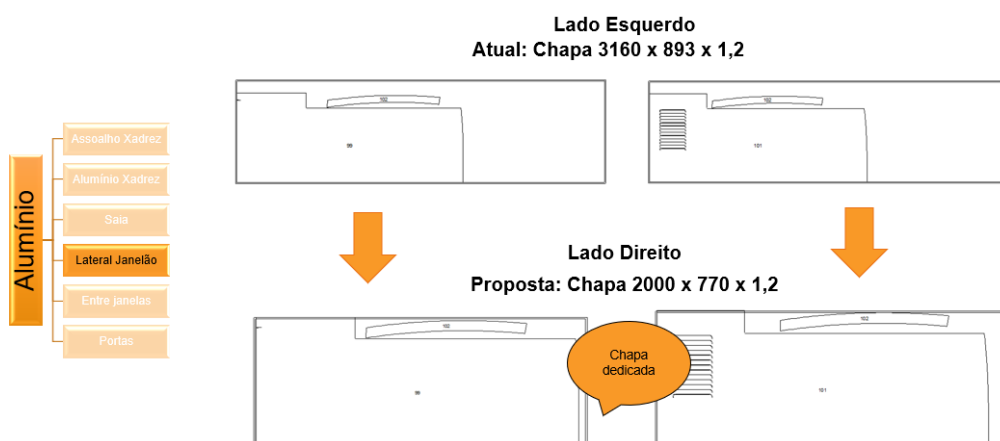


Fonte: Próprios autores, 2025.

Observando a Figura 7, na solução apresentada do plano de corte referente a lateral do janelão (Lateral Esquerda e Lateral Direita), houve um redimensionamento das matérias primas, onde suas dimensões passaram de 3160 mm x 893 mm para 2000 mm x 770 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Figura 7: Solução Aplicada nas Dimensões da Chapa de Aço (Lateral do Janelão)

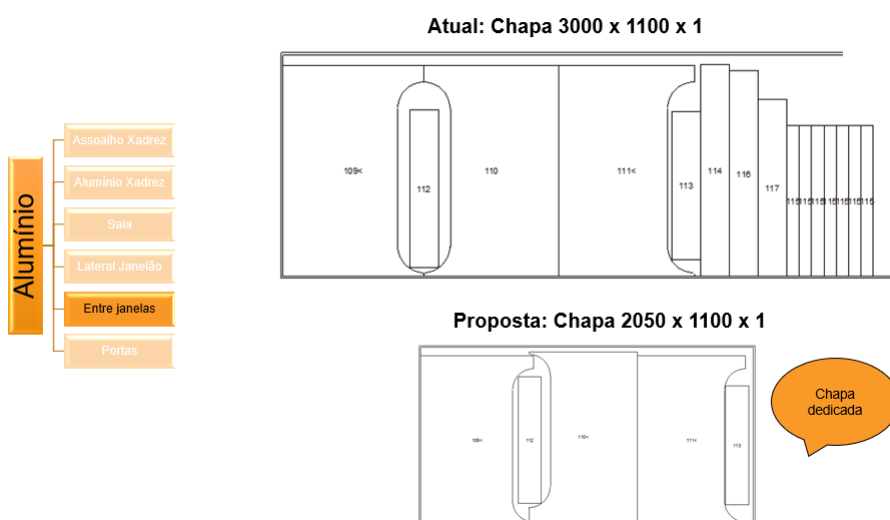
PROPOSTA



Fonte: Próprios autores, 2025.

Figura 8: Solução Aplicada no Comprimento da Chapa de Aço (Entre Janelas)

PROPOSTA



Fonte: Próprios autores, 2025.

Na Solução da Proposta de corte referente a chapas entre janelas (Figura 8), houve a retirada de algumas peças para realocação em outro plano de corte e o redimensionamento das matérias primas, onde seu comprimento passou de 3000 mm para 2050 mm, sendo necessário uma chapa dedicada.

Assim, após a exposição dos redimensionamentos das chapas de aço e as soluções aplicadas percebe-se que as empresas reconhecem sobre o melhor aproveitamento das chapas de aço, mas, querem obter lucros através dos procedimentos adotados.

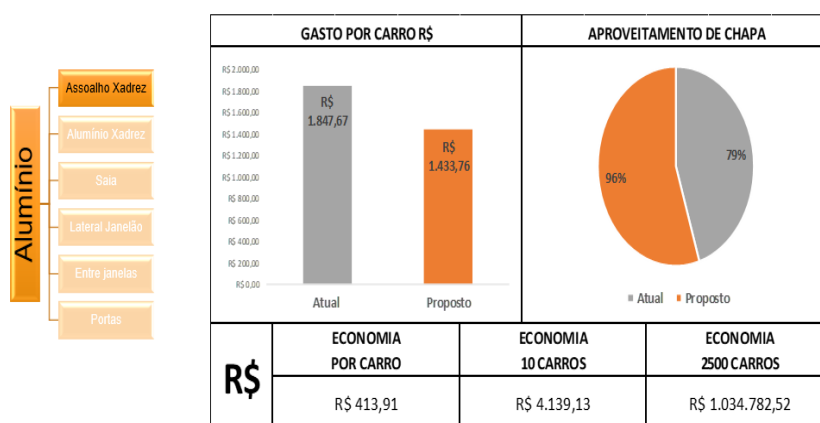
Definir os padrões de corte das chapas de aço, consiste em combinar várias peças para melhor utilizar as sobras e evitar que sejam desperdiçadas após o encaixe usado. Na proposta para a otimização do plano de corte referente a caixa de rodas, houve um redimensionamento da matéria prima cuja proposta está em melhor ocupar os espaços que seriam sobras para reduzir os custos de produção.

Como foi demonstrado através de figuras os procedimentos da aplicabilidade dos métodos e ferramentas de qualidade, percebe-se que demonstrar os lucros adquiridos também deva seguir os mesmos critérios.

Na Figura 9 observa-se os lucros adquiridos através das alterações presentes na proposta do assoalho xadrez, onde obteve-se uma economia de R\$ 1.034.782,52 nos 2.500 ônibus produzidos, uma vez que o aproveitamento da chapa de aço, nesse caso, foi de 79% para 96%.

Figura 9: Lucros Adquiridos ao aproveitar as Chapas de Aço do Assoalho

GANHOS – Assoalho

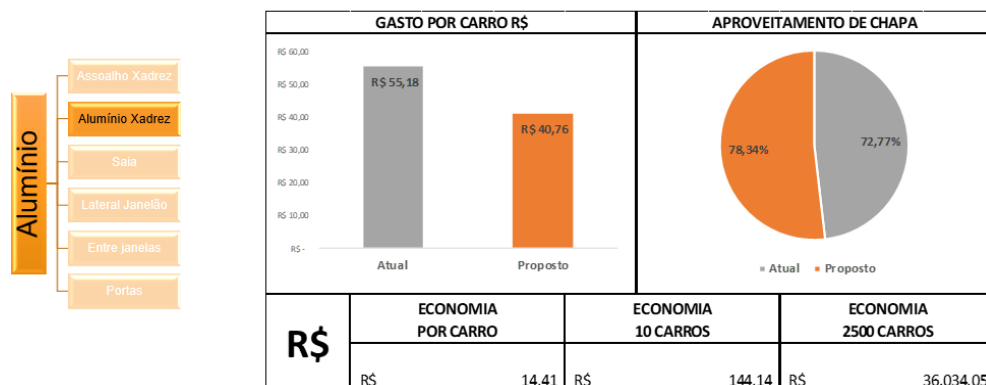


Fonte: Próprios autores, 2025.

Para os Lucros Adquiridos do Posto Motorista, o aproveitamento da chapa passou de 72,77% para 78,34% (Figura 10), obtendo uma economia de R\$ 36.034,05 nos 2.500 ônibus produzidos.

Figura 10: Lucros Adquiridos das Chapas de Aço no Posto Motorista

GANHOS – Posto do Motorista

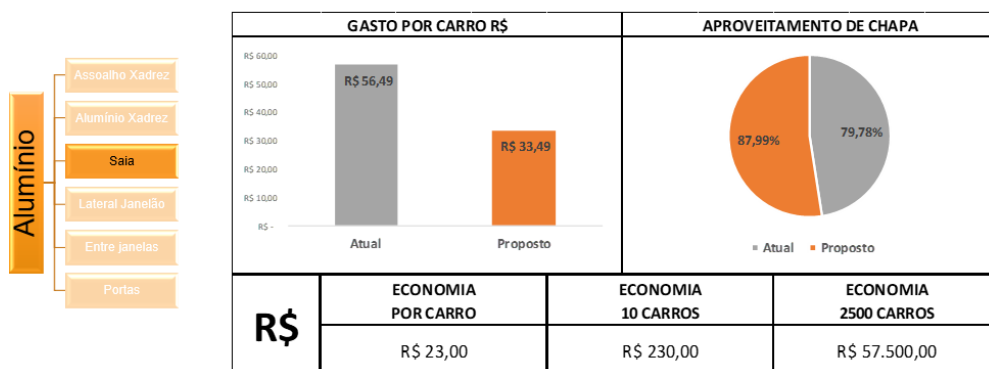


Fonte: Próprios autores, 2025.

Enquanto para os Lucros Adquiridos da Saia do ônibus (Figura 11), o aproveitamento da chapa passou de 79,78% para 87,99%, obtendo uma economia de R\$ 57.500,00 nos 2.500 ônibus produzidos.

Figura 11: Lucros Adquiridos - Saia

GANHOS

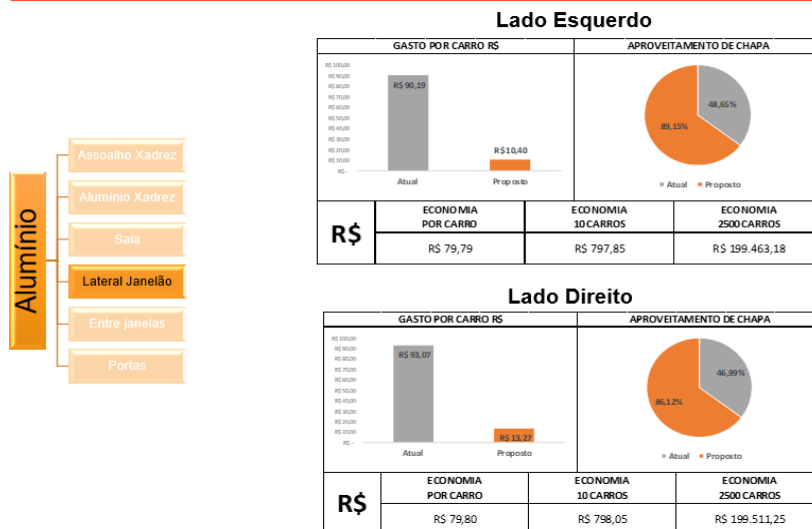


Fonte: Próprios autores, 2025.

Na Figura 12, sobre os lucros adquiridos, o aproveitamento da chapa da lateral esquerda passou de 48,65% para 89,15% (Figura 25), e do lateral direita passou de 46,99% para 86,12% obtendo uma economia de R\$ 199.463,18 na lateral esquerda e R\$ 199.511,25 na lateral direita para os 2.500 ônibus produzidos.

Figura 12: Lucros Adquiridos na Lateral do Janelão

GANHOS

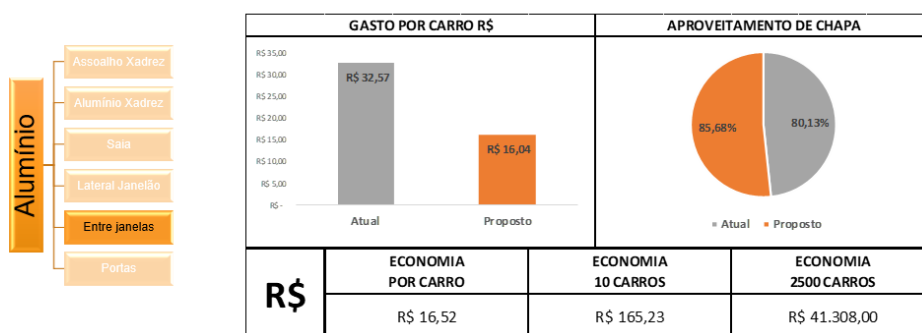


Fonte: Próprios autores, 2025.

Para a proposta quando as chapas entre janelas, o aproveitamento das chapas de aço passou de 80,13% para 85,68% (Figura 13), obtendo uma economia de R\$ 41.308,00 para os 2.500 ônibus produzidos.

Figura 13: Lucros Adquiridos com as Chapas Entre Janelas

GANHOS



Fonte: Próprios autores, 2025.

Assim, após a demonstração através das figuras os Lucros Adquiridos pela indústria, foi possível ter informação no âmbito geral da pesquisa que mostra que a proposta efetivada (Tabela 1).

Tabela 1: Economia global

Peças	Antes	Depois	Aproveitamento	Economia 1 carro	Economia 10 carros	Economia 2500 carros
Assoalho	R\$ 1.847,67	R\$ 1.433,76	17,00%	R\$ 413,91	R\$ 4.139,13	R\$ 1.034.782,52
Caixa de rodas	R\$ 101,00	R\$ 27,93	11,17%	R\$ 73,07	R\$ 730,71	R\$ 182.677,33
Posto Motorista	R\$ 55,18	R\$ 40,76	5,57%	R\$ 14,41	R\$ 144,14	R\$ 36.034,05
Entre Janelas	R\$ 32,57	R\$ 16,04	5,55%	R\$ 16,52	R\$ 165,23	R\$ 41.308,00
Lateral Janelão LE	R\$ 90,19	R\$ 10,40	40,50%	R\$ 79,79	R\$ 797,85	R\$ 199.463,18
Lateral Janelão LD	R\$ 93,07	R\$ 13,27	39,13%	R\$ 79,80	R\$ 798,05	R\$ 199.511,25
Saia	R\$ 56,49	R\$ 33,49	8,21%	R\$ 23,00	R\$ 230,00	R\$ 57.500,00
TOTAL	R\$ 2.276,17	R\$ 1.575,65	127,00%	R\$ 700,51	R\$ 7.005,11	R\$ 1.751.276,33

Fonte: Próprios autores, 2025.

A título de comparação, não foram encontrados trabalhos semelhantes que levassem em consideração a otimização e a análise de custo e economia de corte de chapas em processos produtivos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender o funcionamento interno de uma empresa encarregadora de ônibus e a busca por procedimentos técnicos proporcionaram a redução do custo no processo produtivo e conseqüentemente lucro para a empresa. O trabalho permitiu reconhecer a necessidade de o profissional em Engenharia estar atento e atualizado com as demandas do mercado.

De maneira geral as chapas de aço que eram refugadas e empilhadas sem nenhuma atenção foram revistas e tornaram-se úteis para a produção, ou seja, este olhar para o contexto geral da empresa, permitiu uma atenção especial a este material, no qual, a partir de estudos e aprofundamentos técnicos, será possível utilizar as chapas de aço descartadas através do redimensionamento de matéria prima e das alterações nos planos de corte utilizados pela indústria.

Com isso, obteve-se os benefícios dos resultados referente ao redimensionamento e as alterações nos planos de corte após a conclusão desse trabalho, sendo que ficou evidente que a matéria-prima se tornou produtiva e eficaz em sua utilização, podendo ter melhor aproveitamento em tamanhos que não eram usados anteriormente. E as ferramentas de qualidade tornaram-se efetivas quando a área externa deixou de ter as sobras empilhadas, ou seja, as matérias primas foram organizadas por tamanhos, facilitando o uso quando necessário e viabilizando o

melhor aproveitamento do layout do setor. Observou-se que há redução do custo no processo produtivo foi alcançada devido a uma economia de R\$ 1.751.276,32 na frota de 2.500 unidades do modelo de ônibus analisado (Figura 28), relacionado as sobras de matéria prima antes existente.

Sobre o Estudo de Caso foi possível reconhecer a união dos funcionários que lidam diretamente no corte das chapas de aço. Eles reconheceram a diferença e os impactos positivos do projeto, refletindo também na confiança adquirida pelo profissional em Engenharia e os gestores da empresa.

Sendo assim respondendo o questionamento feito como problema de pesquisa a maior vantagem em obter um melhor aproveitamento na utilização das chapas de aço em indústria Encarroçadora de ônibus foi o lucro calculado sobre a fabricação de 2.500 unidades; e se tratando do Engenheiro de Produção percebeu-se que seu apoio é fundamental para a realização do projeto. Isto porque, com suas habilidades técnicas, teóricas e operacionais houve maior credibilidade da proposta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **Produção brasileira de fundidos recua em 2023 e se iguala à de 2021**. São Paulo: ABIFA, 2024. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/producao-brasileira-de-fundidos-recua-em-2023-e-se-igual-a-de-2021/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CHAGAS, Rafael da Silva. **Sistema de apoio à decisão para planejamento da produção de peças de chapas metálicas**. 2020a. 94 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24720>. Acesso em: 25 maio. 2025.

CHAGAS, Ruan Rithelle de Faria Franco et al. **Método para otimização do planejamento de produção de peças que utilizam corte de chapas metálicas com foco em redução de custos e resíduos**. 2020b. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Sond Esp 80 - Mercado de insumos e matérias-primas**. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-80-mercado-de-insumos-e-matérias-primas/>. Acesso em: 28 maio 2025.

DEPIERI, Túlio Sandrini. **A aplicação do Diagrama de Ishikawa e do ciclo PDCA na redução de perdas de varredura em uma indústria de massas.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, 22 jun. 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32647>. Acesso em: 06 abr. 2025.

FERNANDES, R.A.P.; PRADO TAVARES, P.H.C.; MIRANDA, C.A.S.; MEDEIROS, M.L. **Proposta de aplicação do ciclo PDCA como ferramenta de apoio ao gerenciamento de processos: estudo de caso em uma oficina mecânica localizada no município do Rio de Janeiro.** 2020. Anais/Proceedings. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/proposta-de-aplicao-do-ciclo-pdca-como-ferramenta-de-apoio-ao-gerenciamento-de-processos-estudo-de-caso-em-uma-oficina-mecanica-localizada-no-municipio-do-rio-de-janeiro-34575>. Acesso em: 8 abril. 2025.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-Time: automação (Jidoka) e zero defeitos.** 2. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2023. Disponível em: <https://www.ucs.br/educs/livro/sistema-toyota-de-producao-mais-do-que-simplesmente-just-in-time-autonomacao-jidoka-e-zero-defeitos-4021/>. Acesso em: 28 maio 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. In: KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. *Manufatura: engenharia e tecnologia.* 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2018.

MARSON, J. A. **Processos de fabricação.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2014.

MOURA, C. R.; KRYSZYK, J. V.; ULBRICHT, G.; CHAGAS, G. M. P. Otimização de cortes bidimensionais em chapas através da aplicação de modelos matemáticos. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 3, 2019. Disponível em: https://www.academia.edu/54675713/Otimiza%C3%A7%C3%A3o_de_cortes_bidimensionais_em_chapas_atrav%C3%A9s_da_aplica%C3%A7%C3%A3o_de_modelos_matem%C3%A1ticos. Acesso em: 12 maio 2025.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, F. dos S.; MENDES, L. D. dos S.; COSTA, R. A. Implantação do sistema de produção enxuta em uma indústria de autopeças utilizando a metodologia lean manufacturing. **Anais do X SIMPROD, 2018.** Disponível em: <https://www.revistarefas.com.br/RevFATECZS/article/view/636>. Acesso em: 12 maio 2025.

OLIVEIRA, Sarah de Campos. **Ciclo PDCA 4.0: ferramentas da Gestão da Qualidade frente às tecnologias da Indústria 4.0.** Projeto de Graduação (Engenharia de Produção) — Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2022. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/38138/1/2022_SarahDeCamposOliveira_tcc.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.

RIBEIRO, Virgílio. **Logística, Sistema Toyota de Produção e suas implicações na construção civil.** 2. ed. Curitiba: Appris, 2021. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/logistica-sistema-toyota-producao-suas-implicacoes-construcao-civil/p>. Acesso em: 2 jun. 2025.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

VEIGA, C. R. M. **O papel do engenheiro mecânico na modernização de processos industriais.** Disponível em: https://www.academia.edu/43358906/Gest%C3%A3o_da_Produ%C3%A7%C3%A3o_Organiza%C3%A7%C3%A3o_e_Planejamento. Acesso em: 12 maio 2025.