



UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO PARANÁ / PARANAGUÁ

COMPÊNDIO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

VOLUME 2
2025



Universidade Estadual do Paraná
Bacharelado em Engenharia de Produção

COMPÊNDIO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO
Engenharia de Produção - Unespar

Organizadores:

Everton Luiz Vieira

Fernando Henrique Lermen

Gustavo de Souza Matias

Camila Matos

Valderice Herth Junkes

Murillo Vetroni Barros

Karen Godoi Van Mierlo

Tatiane Caroline Ferrari



UNESPAR
Universidade Estadual do Paraná
Paranaguá
2026

2026© Compêndio de trabalhos de conclusão de curso - Engenharia de Produção - Unespar

Organizadores:

Everton Luiz Vieira; Fernando Henrique Lermen; Gustavo de Souza Matias; Camila Matos; Valderice Herth Junkes; Murillo Vetroni Barros; Karen Godoi Van Mierlo; Tatiane Caroline Ferrari

C737 Compêndio de trabalhos de conclusão de curso: Engenharia da Produção - Unespar / Everton Luiz Vieira et al. (orgs.).- Paranaguá: Unespar – campus Paranaguá, 2026.
359 p.

ISBN 978-85-54997-29-8

1. Pesquisa científica. 2. Engenharia da Produção (Unespar) - Pesquisa.
3. Engenharia da Produção (Unespar) – TCC. I. Vieira, Everton Luiz (Org.).

CDD 658.5

Ficha catalográfica elaborada por Leociléa Aparecida Vieira – CRB 9/1174

AUTORES

Vitor Gabriel Sarraff Domingues

Tassiane Prisciele da Rosa

Anna Luiza de Camargo Silva

Juliana Gregorio de Melo

Victor Augusto Veiga Cardoso

Gilberto Moroski Machado Junior

Felipe Sato Rachid

Vitor Gabriel Leandro Olieria

Nicollas Simas de Oliveira

Vinicius Henrique Moreira do Rosário

Larissa Alves Da Silva

David Cordeiro Ramos

Everton Luiz Vieira

Fernando Henrique Lermen

Gustavo de Souza Matias

Camila Matos

Valderice Herth Junkes

Murillo Vetroni Barros

Karen Godoi Van Mierlo

Tatiane Caroline Ferrari

APRESENTAÇÃO

O Compêndio de Trabalhos de Conclusão de Curso do Bacharelado em Engenharia de Produção da UNESPAR – Campus Paranaguá reúne, em sua segunda edição, sete pesquisas desenvolvidas pelos concluintes de 2024, abrangendo áreas como qualidade, sustentabilidade, logística, ergonomia, gestão de operações, meio ambiente e inteligência artificial. Os trabalhos abordam problemas reais enfrentados por indústrias, portos e órgãos públicos da região, com temas que vão da análise físico-química do refino de óleo de soja à previsão de falhas em equipamentos portuários com machine learning, passando pela avaliação do ciclo de vida de operações com contêineres e pela gestão ergonômica em metalúrgicas do litoral paranaense.

Para a Engenharia de Produção, o TCC representa o momento em que o estudante deixa de ser apenas receptor de conhecimento e passa a produzir soluções concretas para o mundo do trabalho. Cada um desses trabalhos exigiu a integração de múltiplas disciplinas — estatística, gestão de processos, análise de dados, segurança do trabalho — aplicadas com rigor científico e metodologias consagradas como PDCA, Avaliação do Ciclo de Vida, REBA e OWAS. Essa capacidade de unir teoria e prática é a essência da formação em Engenharia de Produção e o que torna esses trabalhos muito mais do que requisitos acadêmicos.

O impacto social desses estudos é direto e mensurável: a melhoria ergonômica protege trabalhadores de lesões, o controle de qualidade no refino de óleos garante segurança alimentar para milhões de consumidores, a gestão de riscos ambientais fortalece a responsabilidade do poder público, e a aplicação de inteligência artificial contribui para a eficiência de um dos maiores complexos portuários da América Latina. Ao reunir essas pesquisas neste compêndio, a UNESPAR reafirma o papel da universidade pública como agente de transformação regional — formando engenheiros capazes de intervir na realidade e gerar valor para a sociedade.

SUMÁRIO

PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO INDUSTRIAL: ESTUDO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA MULTINACIONAL DO SETOR ALIMENTÍCIO PARA O REPROCESSO DE GORDURAS	7
INVENTÁRIO PRELIMINAR DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DA PORTOS DO PARANÁ: EM DIREÇÃO À ECONOMIA DE BAIXO CARBONO	33
PROPOSTA DE REDUÇÃO DE DESLOCAMENTOS DE EMPILHADEIRAS PELA ANÁLISE DO LAYOUT EM UMA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS	1
ANÁLISE DO PROCESSO DE RECEBIMENTO DE RESÍDUOS EM ATERRO SANITÁRIO POR MEIO DO CICLO PDCA E FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	29
ANÁLISE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA UNIVERSIDADE NO PARANÁ .	54
PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO BASEADO EM MODELOS DE MACHINE LEARNING: APLICAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DA FORÇA DE TRABALHO EM UMA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES	79
GESTÃO DE DOENÇAS PSICOSSOCIAIS BASEADA EM DADOS: IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DETERMINANTES E LEVANTAMENTO DE ESTRATÉGIAS DA LITERATURA	117
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HAZOP PARA GESTÃO DE RISCOS NO CONTEXTO DO PSM: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES	147
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CARREGAMENTO DE CAMINHÃO NA LOGÍSTICA DE ARMAZÉM.....	179
PROPOSTA SOBRE SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES: MELHORIA ALTERNATIVA EM MODELAGEM NA CONSTRUÇÃO DE SISTEMA PARA TRANSPORTE EM MOEGAS EM UM MEGAPROJETO	207
GESTÃO E POSICIONAMENTO DE MERCADO PARA UMA EMPRESA DE ENGENHARIA CIVIL EM EXPANSÃO: UM ESTUDO SOBRE A ATUAÇÃO EM PARANAGUÁ	5
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA ACADEMIA: INVENTÁRIO, CLASSIFICAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO	38

PROPOSTA DE UM EQUIPAMENTO INDUSTRIAL: ESTUDO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA MULTINACIONAL DO SETOR ALIMENTÍCIO PARA O REPROCESSO DE GORDURAS

Vitor Gabriel Sarraff Domingues, vitaosarraff@gmail.com

Murillo Vetroni Barros, murillo.barros@unespar.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é realizar o diagnóstico do processo de derretimento da empresa e desenvolver uma prototipagem de baixo custo do equipamento proposto no processo, visando melhorias de capacidade, segurança e qualidade. A empresa possui diversos gargalos produtivos e pontos de atenção inerentes ao processo atual, relacionados à qualidade e segurança. Portanto, o trabalho utilizou ferramentas de mapeamento de processo, como fluxogramas, ciclo SDCA, ferramentas de segurança como APR e de qualidade, como FMEA para fundamentar uma solução para a redução dos gargalos na linha de produção. Além disso, uma proposta de um novo equipamento foi construída para simular como seria as melhorias na linha de produção para aumentar a capacidade produtiva, reduzir tempo de processo, e mitigar riscos de segurança, ergonomia e qualidade. Com a implementação do equipamento proposto, as atividades seriam reduzidas de 26 para 18 tarefas no total. Além disso, foi construído um procedimento operacional padrão do equipamento de derretimento, garantindo segurança operacional, eficiência no processo e conformidade com as boas práticas de fabricação. O estudo, portanto, visa resolver um problema real do setor produtivo, aplicando ferramentas estabelecidas no campo da Engenharia de Produção. Espera-se que com a implementação da proposta, a empresa possa alcançar melhorias na eficiência do reprocesso de gordura.

Palavras-chave: Indústria de alimentos; Óleos e gorduras; Desenvolvimento de produto; Reprocesso.

PROPOSAL FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT: AN APPLIED STUDY IN A MULTINATIONAL FOOD INDUSTRY FOR FAT REPROCESSING

ABSTRACT

The aim of this work is to develop a proposal for an industrial piece of equipment for the reprocessing sector that performs the melting of fats classified in buckets. The company has several production bottlenecks and points of concern inherent to the current process, related to quality, ergonomics, and safety. Therefore, the study used process-mapping tools such as flowcharts, the SDCA cycle, safety tools such as APR, and quality tools such as FMEA to support a solution aimed at reducing bottlenecks on the production line. In addition, a proposal for a new piece of equipment was developed to simulate potential improvements in the production line, with the goals of increasing production capacity, reducing process time, and mitigating safety, ergonomic, and quality risks. With the implementation of the proposed equipment, activities would be reduced

from 26 to 18 tasks in total. Furthermore, a standard operating procedure for the melting equipment was created, ensuring operational safety, process efficiency, and compliance with good manufacturing practices. In terms of ergonomics, the improvements are geared toward operator health and safety, reducing physical effort. The study therefore aims to solve a real problem in the production sector by applying well-established tools from the field of Manufacturing Engineering. It is expected that, with the implementation of the proposal, the company will achieve improvements in the efficiency of the fat reprocessing operation.

Keywords: Food industry; Oils and fats; Product development; Reprocessing

1. INTRODUÇÃO

O setor de produção de alimentos representa um dos pilares da economia brasileira. Em 2024, a indústria de alimentos faturou cerca de R\$1,277 trilhão, o que corresponde a aproximadamente 10,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, além de empregar milhões de trabalhadores e estimular a inovação em toda a cadeia produtiva (ABIA, 2025). No âmbito da indústria alimentícia, observa-se uma crescente demanda por eficiência, segurança e sustentabilidade, alicerçada em estruturas produtivas robustas e processos contínuos de abastecimento voltados aos mercados interno e externo.

Um setor específico nesse ramo de atuação é o de óleos e gorduras. Pode-se observar que a indústria apresenta processos complexos em relação ao tratamento do produto em etapas como refino de óleo, hidrogenação, interesterificação e desodorização de gorduras, pois exigem um nível de rigor para controle de parâmetros de qualidade e segurança alimentar. Os insumos compõem parâmetros físico-químicos, como temperatura, pressão, vácuo, acidez, umidade e curvas de reação a diferentes temperaturas, características que influenciam diretamente na padronização do produto final. Além disso, o Procedimento Padrão de Higiene Operacional (PPHO) e Boas Práticas de Fabricação (BPF) são importantes para que não haja contaminações e inconformidades, salientando a importância de um manejo correto da matéria-prima e controle sanitário do processo. Assim, pode-se dizer que a eficiência operacional nesse segmento está diretamente relacionada à utilização de equipamentos operacionais adequados, Padrões Técnicos de Processo (PTP) e práticas de engenharia que assegurem produtividade e qualidade (SANTOS e MENEZES, 2019).

Sob a perspectiva da Engenharia de Produto, este trabalho enquadra-se no desenvolvimento e aprimoramento de um equipamento industrial utilizado em processos produtivos existentes. De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o desenvolvimento de produtos compreende um conjunto estruturado de atividades que envolve a identificação de necessidades, a análise do contexto de uso, a concepção de soluções técnicas e a validação de requisitos funcionais, de segurança e desempenho. Nesse sentido, a proposta apresentada não se limita à melhoria operacional, mas

contempla o diagnóstico do processo atual de derretimento de gorduras e a concepção de um equipamento industrial adequado às exigências produtivas e sanitárias do setor alimentício. Assim, o estudo contribui para a aplicação prática dos conceitos de Engenharia de Produto, ao alinhar requisitos técnicos, operacionais e normativos no desenvolvimento de uma solução de baixo custo voltada à melhoria da capacidade, segurança e eficiência do reprocesso de gorduras.

Em termos da literatura científica, é possível encontrar alguns trabalhos publicados nas indústrias de óleos de gorduras, tais como, Santos e Menezes (2019) que avaliaram os aspectos tecnológicos e de qualidade no processamento de óleos e gorduras comestíveis; Vitoriano e Barbosa (2023) que comentaram sobre o controle de qualidade de gorduras vegetais. No entanto, um estudo em específico que se trata do reprocessamento de gorduras, sobretudo em relação ao equipamento estabelecido, para realização do processo no setor de fabricação de óleos e gorduras, não foi identificado na literatura científica. Portanto, uma lacuna de pesquisa surge em meio a esse tema, em termos de aprimorar um equipamento industrial do setor para potencializar a eficiência e a agilidade do reprocesso de gordura. Além disso, o trabalho é voltado a uma atuação prática do setor produtivo, buscando resolver um problema real em termos de produção, atualmente estabelecido no reprocesso de gordura. Diante disso, o objetivo deste trabalho é realizar o diagnóstico do processo de derretimento e desenvolver uma prototipagem de baixo custo do equipamento proposto, visando melhorias de capacidade, segurança e qualidade. Os resultados buscam minimizar os impactos dos gargalos produtivos da área e mitigar problemas de produção, qualidade e segurança da operação.

Este estudo está organizado da seguinte forma: A primeira seção apresentou a contextualização do tema e o objetivo geral. A segunda seção aborda o referencial teórico sobre a temática. A terceira seção detalha a metodologia empregada no desenvolvimento do estudo. A quarta seção apresenta os resultados e discussões. Por fim, a quinta seção apresenta as conclusões, limitações, e sugestões para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria de óleos e gorduras

A indústria de óleos e gorduras desempenha um papel fundamental na cadeia alimentícia mundial, integrando processos de extração, refino, modificação e transformação aplicados a produtos derivados de oleaginosas, como soja, palma e girassol. Esses processos visam garantir qualidade físico-química, estabilidade oxidativa e propriedades funcionais adequadas às necessidades industriais, sobretudo na produção de margarinas, cremes vegetais e ingredientes estruturantes (RAMALHO e SUAREZ, 2013). As etapas industriais envolvem operações como degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização, todas sensíveis a condições térmicas

e ao controle de contaminantes, o que exige monitoramento operacional contínuo (TIRITAN, 2020).

Entre os desafios da produção de óleos e gorduras destaca-se a sua suscetibilidade a processos oxidativos e degradações quando submetidos a temperaturas inadequadas, tempos prolongados de exposição ou contato com materiais reativos. Segundo Ramalho e Suarez (2013), fatores como composição lipídica, teor de ácidos graxos livres e condições ambientais podem acelerar reações de oxidação, alterando o odor, sabor e cor das matérias-primas.

Estudos sobre alternativas para tratamento e reaproveitamento de óleos demonstram que a qualidade final do produto reaproveitado depende de controles adequados de temperatura, minimização de impurezas e redução do contato com superfícies contaminantes (PRATA, 2018). Quando realizados de forma inadequada, esses processos podem gerar alterações sensoriais e químicas que inviabilizam o reuso, aumentando o risco de descarte e prejuízos industriais (COSTA, 2013). Dessa forma, o reprocessamento adequado requer infraestrutura que favoreça condições sanitárias estritas.

Em síntese, a literatura evidencia que a indústria de óleos e gorduras depende fortemente da eficiência de suas etapas de processamento e da capacidade de reaproveitamento seguro da matéria-prima. Entretanto, para que o reprocesso seja viável, é necessário um conjunto de medidas que incluam controle operacional rigoroso, equipamentos adequados e procedimentos padronizados, de forma a evitar perdas químicas, degradação do produto e riscos de contaminação. Assim, a adoção de melhorias no fluxo de derretimento e manipulação, como o desenvolvimento de equipamentos específicos, torna-se essencial para elevar a eficiência e reduzir desperdícios na cadeia produtiva.

2.2 Desenvolvimento de produto - uma abordagem simplificada

O desenvolvimento de produtos é um processo essencial para a inovação industrial, porém pode assumir diferentes níveis de complexidade conforme a necessidade da organização. Em ambientes produtivos que demandam soluções rápidas e de baixo custo, modelos simplificados de desenvolvimento tornam-se adequados, pois permitem atender a necessidades operacionais sem a aplicação integral de metodologias mais extensas. Robson (2011), ao analisar o processo de preparação da produção para novos produtos, destaca que mesmo modelos simplificados devem conter etapas fundamentais, como o entendimento do processo atual, a identificação de problemas e a validação prática das soluções propostas. O autor reforça que a análise do fluxo operacional por meio de ferramentas de representação gráfica, como fluxogramas, é crucial para compreender a lógica produtiva, mapear gargalos e embasar tecnicamente a criação do produto.

No contexto industrial, o desenvolvimento de dispositivos auxiliares, como equipamentos de apoio ao derretimento, costuma seguir esse modelo simplificado, uma vez que o objetivo não é introduzir um novo produto ao mercado, mas sim otimizar um processo já existente. Para isso, aplica-se a lógica da melhoria incremental, associada a práticas estruturadas de padronização, testes rápidos e ciclos iterativos. Knop e Mielczarek (2015) argumentam que o ciclo SDCA (sigla em inglês para: *Standardize, Do, Check, Act*) desempenha um papel central nesse tipo de desenvolvimento, pois busca estabilizar processos, corrigir desvios e padronizar operações antes de avanços mais profundos. Dessa forma, a prototipagem prática e o ajuste contínuo das condições operacionais representam partes essenciais no desenvolvimento simplificado.

2.3 Ferramentas da Engenharia de Produção

Diversas ferramentas consolidadas da Engenharia de Produção são aplicadas para estruturar, diagnosticar e melhorar processos industriais. No desenvolvimento e avaliação de dispositivos mecânicos, como equipamentos auxiliares, destacam-se o mapeamento do processo (fluxogramas), a Análise Preliminar de Riscos (APR), o FMEA, os Procedimentos Operacionais Padrão (POP) e o ciclo SDCA.

Os fluxogramas constituem uma das ferramentas mais tradicionais e eficazes para analisar processos produtivos. Robson (2011) demonstra que o mapeamento gráfico facilita a visualização de etapas, movimentações e interações entre setores, permitindo identificar falhas, redundâncias e oportunidades de otimização.

A APR é amplamente utilizada em ambientes industriais como forma de avaliação antecipada de perigos associados às atividades. Segundo Machado et al. (2023), a APR permite identificar potenciais fontes de risco, classificá-las de acordo com severidade e probabilidade e estabelecer medidas de mitigação.

O FMEA é uma ferramenta estruturada para identificação de falhas potenciais, avaliação de seus impactos e priorização de ações corretivas. Hoefig et al. (2021) evidenciam que o FMEA auxilia no aumento da confiabilidade de processos e produtos ao hierarquizar riscos por meio dos índices de severidade, ocorrência e detecção.

A criação de documentação técnica é um componente importante nesse estudo. A elaboração de um Procedimento Operacional Padrão (POP) consolidado após a validação do protótipo permite a formalização da operação e contribui para a segurança e conformidade do processo. A ANVISA (2019) ressalta que os POPs são instrumentos essenciais de padronização, promovendo uniformidade, rastreabilidade e segurança sanitária. Assim, o desenvolvimento de

produto simplificado integra análise de processo, prototipagem rápida, testes operacionais e padronização documental, garantindo aplicabilidade prática e redução de variabilidade operacional.

O ciclo SDCA é apresentado por Knop e Mielczarek (2015) como um método eficaz para estabilização e controle de processos antes da aplicação do PDCA (sigla em inglês para: *Plan, Do, Act, Check*). O SDCA atua na manutenção do padrão, verificando a aderência às práticas estabelecidas e corrigindo desvios, garantindo que o processo permaneça consistente ao longo do tempo. No desenvolvimento de dispositivos mecânicos, essa ferramenta assegura que a operação com o novo equipamento seja segura, eficiente e replicável.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Sequência metodológica

A metodologia deste estudo foi estruturada em etapas sequenciais e integradas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1

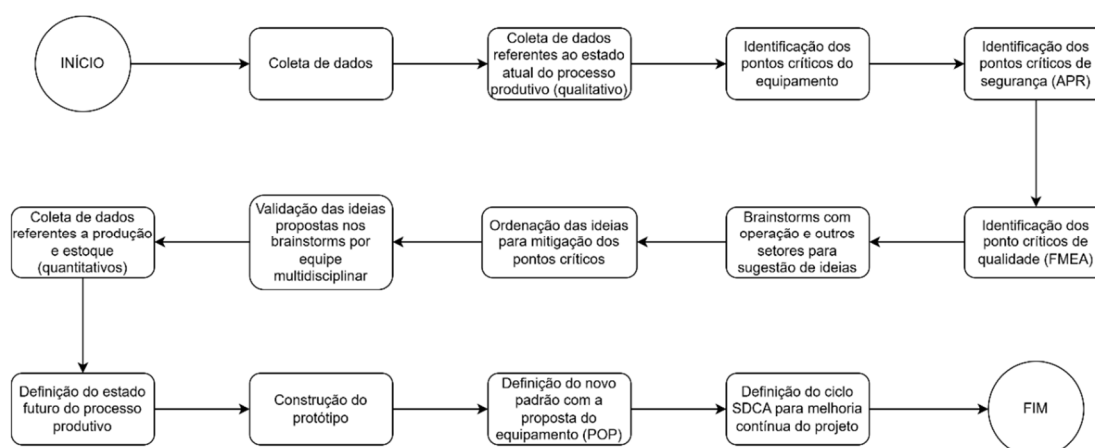


Figura 1 – Fluxograma da sequência metodológica

Inicialmente, realizou-se a coleta de dados qualitativos através de observação do processo para entendimento do padrão e identificação de pontos críticos do equipamento relacionados a segurança e qualidade, culminando brainstorms para ordenação e validações de ideias propostas de melhorias ao equipamento, passando para a parte de coleta de dados quantitativos referentes a produção e estoque. Com base nesse diagnóstico, foi desenvolvido a definição do estado futuro do processo produtivo, partindo para a prototipagem do equipamento, na definição do novo padrão operacional (POP) e na aplicação do ciclo SDCA como suporte à melhoria contínua do processo.

3.2 Escopo da pesquisa

A empresa onde este trabalho foi desenvolvido, com origem brasileira, e mais de 80 anos de história, atua no ramo alimentício, e tem uma grande diversificação de produtos, se tornando conhecida mundialmente, como uma das maiores empresas de alimentos do mundo. Considerada uma empresa multinacional, com mais de 35 unidades industriais no Brasil, além de 22 centros de distribuição que atendem diversos canais de venda, a empresa também possui unidades no exterior, com fábricas em diversos países, incluindo Argentina, Emirados Árabes Unidos, Holanda, Malásia, Reino Unido, Tailândia e Turquia.

Este trabalho foi realizado em uma unidade industrial localizada na região sul do Brasil, em uma área dentro do setor de Fabricação de Óleos e Gorduras (FOG). Dentro do setor existem algumas áreas, e dentre elas está a neutra batch (que realiza o reprocesso da gordura reprovada ou desperdiçada no processo de fabricação e expedição do produto final).

3.3 Pano de fundo da literatura científica

Para a construção do referencial teórico, foi adotada a metodologia de amostragem conhecida como “bola de neve” (*snowball sampling*) para a seleção dos artigos científicos. Essa metodologia consiste em um processo iterativo de busca, no qual a partir de um artigo inicial escolhido, novos artigos são identificados nas referências citadas neste trabalho. A cada nova etapa, amplia-se o número de estudos pertinentes. Essa abordagem foi escolhida por permitir abrangência, garantindo que os materiais utilizados fossem efetivamente relacionados à temática central do trabalho.

No que se refere ao delineamento da pesquisa, o presente trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, uma vez que analisa de forma aprofundada um processo produtivo específico inserido em um contexto industrial real. A abordagem metodológica adotada é qualitativa, pois prioriza a compreensão detalhada do processo, a identificação de gargalos operacionais e a análise técnica das condições de operação, segurança e qualidade, com apoio de dados descritivos obtidos por observação direta, análise documental e interação com os profissionais envolvidos.

3.4 Contexto industrial do setor

Entre os processos desenvolvidos na fábrica, destaca-se um gargalo crítico: o reprocesso de sobras de gordura e de gorduras reprovadas. A operação realizada no setor, consiste no derretimento dessas gorduras, tratamento do produto e envio do mesmo para os tanques destinados.

O problema encontrado é o ritmo atual de produção que sobrecarrega o sistema (há mais gordura a ser processada do que capacidade disponível para derreter). Isso resulta em produto parado no pátio, o que significa exposição prolongada ao ambiente (chuva, sol e vendavais), comprometendo a qualidade da gordura, gerando maior tempo de processo e até mesmo perdas significativas de matéria-prima, se tornando assim, um problema de qualidade inerente ao processo.

Buscando alternativas para o problema, pôde-se observar que durante o tempo em que se aplicou este estudo, o equipamento utilizado no setor para derretimento de gorduras classificada em baldes não demonstrou ser adequado ao processo, pois a estrutura composta de aço carbono (não recomendado para o setor industrial) possuía características físicas não ergonômicas e inseguras. Logo, a Figura 1 mostra o equipamento.

O equipamento encontra-se desgastado e localizado muito próximo a parede, e com pouco espaço de movimentação para o operador, obrigando-o a se aproximar demais das laterais e em certas atividades, até mesmo encostar no carrinho para a inserção e retirada de baldes na grade interior, gerando assim, riscos de queimaduras e bem-estar do operador, que se via obrigado a realizar movimentos forçados.



Figura 2 - Equipamento atual

3.5 Desenvolvimento do produto - uma abordagem simplificada

Para o desenvolvimento da ideia do produto, foi analisado o processo para identificação do padrão da operação para consolidar a realização da proposta.

Em seguida, foram realizadas sessões de geração de ideias (*brainstorming*) com operadores da área e representantes do setor, para identificação dos principais problemas. Identificados os problemas, realizou-se a identificação e priorização das causas do problema, definição das metas, elaboração do plano de ação, elaboração do método, e definição de recursos. E então o próximo

passo foi realizar a análise de dados, através do acompanhamento diário da produtividade e estoque.

A partir do planejamento realizado, e por meio da análise da ferramenta dos 5 Porquês, identificou-se que a principal causa do problema estaria relacionada às limitações dos equipamentos de derretimento. Como solução, propôs-se o desenvolvimento de um equipamento capaz de otimizar a produção, eliminar as lacunas identificadas e, ao mesmo tempo, tentar melhorar a eficiência do processo.

Portanto, o equipamento proposto, trata-se de um “carrinho” que realiza o derretimento de baldes de 15 kg de gordura que já existe na empresa, mas não atende as especificações técnicas. Para a construção da ideia completa do protótipo foram realizadas discussões com o setor operacional e a equipe de manutenção para se chegar a uma solução mais viável. Tendo a ideia do equipamento, iniciou-se a construção do protótipo em tamanho real, feito de material derivado de madeira, MDF (*medium-density fiberboard*). O protótipo real foi construído de forma artesanal, com o objetivo de proporcionar aos manutentores da empresa uma visualização clara do produto no tamanho exato.

3.6 Coleta de dados

Foi necessário a realização de coleta de algumas informações, incluindo os desdobramentos do processo produtivo da área e o controle de produção da neutra batch. A coleta de dados ocorreu através de dois passos principais: discussão com os operadores e gestores do setor produtivo; e análises de produção e estoque diário. Para o primeiro tipo de análise realizada foram feitas coletas de informações qualitativas e quantitativas. Portanto, foi elaborada uma tabela de caracterização dos entrevistados, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos entrevistados

Nomenclatura especializada	Educação	Ocupação	Anos de experiência na indústria
E1	Engenheiro Químico	Supervisor de Produção	2
E2	Engenheiro Industrial	Supervisor de Manutenção	6
E3	Fisioterapeuta	Ergonomista	3
E4	Ensino técnico	Operador de produção	2
E5	Ensino técnico	Operador de produção	4

Para o segundo passo, foram levantados dados quantitativos referentes à produção, estoque e deliberação do produto aos tanques. Algumas informações foram extraídas durante a execução do estudo, em tempo real, porém, havia registros históricos de informações pertinentes e necessárias para a análise, de modo que todas as informações pudessem subsidiar uma planilha de acompanhamento diário da situação da área, garantindo os dados necessários para a planilha. Desse modo, foi possível acompanhar a produção atual e estimar o impacto da melhoria a ser realizada com a proposta do novo equipamento.

3.7 Abordagens da Engenharia de Produção analisadas no estudo

Algumas abordagens da Engenharia de Produção foram analisadas, tais como, otimização da produção (SDCA, fluxogramas, Procedimento Operacional Padrão); Segurança (Análise Preliminar de riscos) e Qualidade (FMEA). Os métodos empregados em cada abordagem estão detalhas a seguir.

3.7.1. Otimização da Produção

Foi desenvolvido um POP para como se daria a realização das atividades, entendendo quais atividades deixariam de existir e quais seriam inseridas. Como subsídio para construir o POP, buscou elaborar fluxogramas horizontal e vertical do processo atual e do processo com a proposta do equipamento. E com isso, provou-se que a proposta de melhoria do carrinho de derretimento impactaria diretamente na otimização da produção, uma vez que busca reduzir o tempo e esforço de derretimento e transporte da gordura, aumentando a produtividade e trazendo maior fluidez ao processo.

Para mensurar esse impacto, foram estimadas previsões de zerar o estoque, de acordo com cronometragens das atividades e capacidade calculada. Além disso, foi realizada a construção de um ciclo SDCA do novo equipamento para a aplicação do POP e melhoria contínua após análise de possíveis inconformidades.

3.7.2 Segurança (APR - Análise Preliminar de Riscos)

A segurança do processo foi analisada considerando o cenário atual, no qual foram identificados diversos pontos críticos relacionados ao equipamento. A avaliação foi realizada por meio da ferramenta de APR, permitindo identificar, avaliar e propor planos de ação para os

principais riscos associados ao seu uso. A APR foi posteriormente discutida com os gestores da empresa, definindo-se os graus de probabilidade, severidade e classificação de cada risco.

3.7.3. Qualidade

A qualidade do produto também é beneficiada pelo redesenho do equipamento. Atualmente, quanto maior o tempo de espera para derretimento, maior é o período de exposição do produto no pátio, aumentando o risco de contaminação com corpos estranhos. Com o novo modelo, a otimização do processo garante que o produto seja transferido mais rapidamente para a etapa seguinte, reduzindo o tempo de espera. Essa redução não apenas melhora a segurança do alimento, mas também assegura maior conformidade do reprocesso, contribuindo para que o produto mantenha suas propriedades originais durante o ciclo produtivo.

Além das melhorias estruturais e operacionais propostas, foi aplicada a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), com o objetivo de identificar os modos de falha potenciais associados ao processo de derretimento, avaliar seus efeitos e priorizar ações corretivas.

A ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) foi escolhida por possibilitar a identificação sistemática dos modos de falha potenciais do processo de derretimento de gorduras, bem como a avaliação de seus efeitos e causas de forma estruturada. Sua aplicação permite a priorização dos riscos mais críticos por meio dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão e para o direcionamento das ações de melhoria. Dessa forma, o FMEA mostra-se adequado aos objetivos do estudo, ao apoiar o diagnóstico do processo e o desenvolvimento do equipamento proposto com foco na redução de riscos à qualidade do produto, à segurança operacional e à eficiência produtiva.

A seleção dos itens analisados no FMEA foi baseada na criticidade das etapas do processo atual, considerando aquelas com maior impacto potencial sobre a qualidade do produto, a segurança operacional e a continuidade da produção. As pontuações atribuídas aos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) foram definidas a partir da análise técnica do processo, do histórico operacional disponível e da experiência dos profissionais envolvidos.

O índice de Severidade foi estabelecido de acordo com a magnitude do impacto da falha sobre a segurança do alimento, a integridade do operador e o atendimento aos requisitos produtivos. O índice de Ocorrência considerou a frequência observada das falhas no processo atual, com base em registros operacionais e na percepção dos operadores e supervisores da área. Já o índice de Detecção foi atribuído conforme a capacidade dos controles existentes em identificar a falha antes que seus efeitos se manifestem no produto ou no processo. Dessa forma, a inclusão do índice de Detecção permitiu uma avaliação mais abrangente e consistente dos riscos,

possibilitando o cálculo do Número de Prioridade de Risco (RPN) e a hierarquização das ações de melhoria propostas. Abaixo, segue em anexo imagem que exemplifica a escolha dos índices de cada parâmetro:

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Vida útil do Projeto / confiabilidade do item/veículo)	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação	Critérios:		Classificação	Probabilidade de Detecção			
				Oportunidade para Detecção	Probabilidade de Detecção por Controle de Processo					
Muito Alta	Nova tecnologia/novo projeto, sem histórico.	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10	Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de processo. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	Praticamente Impossível			
	A falha é inevitável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	50 por mil 1 em 20		9	Improvável detectar em qualquer estágio.			Modo de falha e/ou Erro (Causa) não é facilmente detectável (por exemplo, auditorias aleatórias).	9	Muito Remota
Alta	A falha é provável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	20 por mil 1 em 50	8	Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, pelo operador, através de meios visuais/táteis/auditivos.	8	Remota			
	A falha é incerta, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	10 por mil 1 em 100		7	Detecção do Problema na Origem			Detecção do modo de falha, na estação, pelo operador, através de meios visuais/táteis/auditivos, ou pós-processamento, através do uso de medição por atributo (passa-não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estado etc.).	7	Muito Baixa
	Falhas frequentes associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	2 por mil 1 em 500		6	Detecção do Problema Pós-Processamento			Detecção do modo de falha, pós-processamento, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou na estação, pelo operador, através do uso de medição por atributo (passa-não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estado etc.).	6	Baixa
Falhas ocasionais associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	0,5 por mil 1 em 2,000	5	Detecção do Problema na Origem		Detecção do modo de falha ou Erro (Causa) na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos na estação, que detectarão peças discrepantes e notificarão o operador (luz, campainha etc.). Medição realizada no setup e verificação da primeira peça (somente para causas de setup).	5	Moderada			
Moderada	Falhas isoladas, associadas a projeto similar, ou em simulação e testes de projeto.	0,1 por mil 1 em 10.000	4	Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e travarão a peça, para impedir processamento subsequente.	4	Moderadamente Alta			
	Somente falhas isoladas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	0,01 por mil 1 em 100.000		3	Detecção do Problema na Origem			Detecção do modo de falha na estação, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e automaticamente travarão a peça na estação, para impedir processamento subsequente.	3	Alta
Baixa	Falhas não observadas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	≤ 0,001 por mil 1 em 1.000.000	2	Detecção do Erro e/ou Prevenção do Problema	Detecção de Erro (Causa), na estação, por controles automáticos, que detectarão o erro e impedirão que a peça discrepante seja produzida.	2	Muito Alta			
	A falha é eliminada por controle preventivo.	A falha é eliminada por controle preventivo		1	Detecção não aplicável. Prevenção do Erro.			Prevenção de Erro (Causa) como resultado do projeto do dispositivo de fixação, projeto da máquina, ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item foi tomado à prova de erro, pelo projeto do processo/produto.	1	Praticamente Certa

Efeito	Critérios:	
	Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Classificação
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, sem prévio aviso.	10
	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, com prévio aviso.	9
Perda ou Degradação de Função Primária	Perda de função primária (veículo inoperável, não afeta a operação segura do veículo).	8
	Degradação de função primária (veículo operável, mas com um nível reduzido de desempenho).	7
Perda ou Degradação de Função Secundária	Perda de função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).	6
	Degradação de função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam um nível reduzido de desempenho).	5
Incômodo	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (> 75%).	4
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por muitos clientes (> 55%).	3
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes observadores (< 25%).	2
Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.	1

Figura 3 – Índices dos parâmetros de qualidade

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estado atual do processo produtivo

4.1.1 Mapeamento do processo

Atualmente, o processo para derretimento de gorduras é realizado através de três macro etapas principais: transporte do produto para derretimento; derretimento e tratamento do produto; deliberação dos produtos para os tanques. Portanto, para visualização e entendimento do fluxo, foi elaborado um fluxograma horizontal, como mostra a Figura 2 (em anexo), e um fluxograma vertical apresentando as distâncias, simbologia, e descrição, como mostra a Figura 3 (em anexo).

O processo de derretimento no fluxograma horizontal conta com a realização de 26 tarefas e 2 decisões, dentre as atividades realizadas e observou-se através destes, que as tarefas realizadas pela operação envolvem atividades forçosas, inseguras e ineficientes, gerando lacunas produtivas (diferença entre o que é derretido e o que é necessário ser derretido), principalmente nas atividades de inserção dos baldes de 15 kg (atividade 4) e de retirada dos baldes do “carrinho” para despejo (atividade 11). Além disso, o fluxograma vertical demonstra as tarefas sendo 25 no total, sendo: 17 de operação; 3 de transporte; 2 de espera; 2 de armazenagem e 1 de inspeção.

4.1.2. Segurança (APR – Análise Preliminar de Riscos)

A segurança do processo foi analisada no processo atual, visto que se identificou diversos pontos pertencentes ao equipamento atual, a análise se deu por meio da aplicação da ferramenta APR, onde foi possível identificar, avaliar e propor planos de ação para os principais riscos associados ao uso do mesmo. A Tabela 2 apresenta a aplicação da ferramenta.

Tabela 2 - Análise preliminar de riscos

Risco Identificado	Probabilidade	Severidade	Classificação	Plano de Ação Proposto
Queimaduras por contato com superfície quente	Média	Alta	Crítico	Inclusão de tubulação de escoamento e eliminação do contato direto com o carrinho aquecido
Esforço físico na inserção de baldes	Alta	Moderada	Crítico	
Esforço físico excessivo na retirada do balde	Alta	Média	Crítico	Inserção de portinha para apoiar o balde e facilitar a colocação do produto

Acidente no transporte manual do carrinho	Baixa	Média	Moderado	Substituição do despejo manual por conexão direta à Maria Fumaça
---	-------	-------	----------	--

A principal mitigação foi eliminar a necessidade de o operador encostar no equipamento para inserir ou retirar os baldes. Com a nova “portinhola” e o sistema de escoamento, o corpo do operador não precisa se aproximar da superfície quente, reduzindo o risco de queimaduras

4.1.3 Procedimento Operacional Padrão

No cenário atual, o processo de derretimento não conta com um Procedimento Operacional Padrão (POP) formalizado, tampouco com um Procedimento Técnico de Processo (PTP) que descreva as atividades, responsabilidades e critérios necessários para a execução adequada da operação. A ausência desses documentos compromete a padronização do trabalho e aumenta o risco de falhas operacionais, retrabalhos, desperdícios e incidentes relacionados à ergonomia e à segurança do operador.

4.1.4 Questões de qualidade

A análise do processo atual evidenciou que o tempo prolongado de derretimento e a exposição da matéria-prima ao ambiente aumentam o risco de contaminação e a perda de características físico-químicas do produto. O equipamento utilizado atualmente por não possuir controle térmico eficiente e demandar longos períodos de espera de operação, favorece variações de temperatura, acúmulo de gorduras e possíveis desvios de qualidade. Para avaliar de forma sistemática os riscos de falhas que impactam a qualidade, foi aplicada a ferramenta FMEA, permitindo identificar pontos críticos. A Tabela 3 a seguir apresenta a aplicação do FMEA para o estado atual do processo.

Tabela 3 - Aplicação do FMEA

Etapa do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Causa Potencial	PN	Ação Corretiva / Preventiva
Produto aguardando derretimento	Exposição prolongada do produto ao ambiente	Perda de qualidade e risco de contaminação microbiológica e física	Falta de capacidade produtiva e gargalo no processo de derretimento	315	Aumentar capacidade de derretimento e reduzir tempo de espera

Limpeza e sanitização do carrinho	Acúmulo de resíduos e gordura no fundo do carrinho	Contaminação cruzada	Falta de declive interno e drenagem eficiente do carrinho		280	Adição de declive interno para escoamento total e limpeza mais rápida
Derretimento de baldes no carrinho atual	Exposição do produto no processo de derretimento	Risco de contaminação por corpos estranhos	Tampa do carrinho com grandes aberturas	0	240	Válvula de vapor isolada com isolamento e portinhola adequada para fechamento apropriado
Colocação dos baldes no carrinho	Esforço físico excessivo na elevação dos baldes de 15 kg	Risco de distúrbios osteomusculares, fadiga e acidentes	Postura inadequada e ausência de apoio ergonômico	0	240	Implementar melhorias ergonômicas (altura ideal do carrinho, portinhola, treinamento de postura)
Transporte do carrinho até o elevador	Vazamento ou derramamento de gordura	Sujidade no piso, risco de queda e contaminação cruzada	Falta de linha de gordura de envio direto para tanque da decantação		240	Inclusão de conexão direta com a linha de gordura até o tanque da decantação
Transferência manual da gordura derretida	Contato acidental do operador com o produto ou superfície muito quente	Risco de contaminação e acidente térmico	Falta de sistema fechado de escoamento	0	160	Inclusão de conexão direta com a linha de gordura até o tanque da decantação

Cada uma das etapas do processo abordada contém modo, efeito e causa potencial de falhas, avaliando os parâmetros de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), e constituindo notas de 1 a 10 para os mesmos, é possível identificar na tabela quais são as principais ações corretivas à priorizar no quesito da qualidade, de acordo com o RPN.

Os itens selecionados para a aplicação do FMEA foram definidos com base nas etapas mais críticas do processo de derretimento de gorduras, considerando aquelas que apresentam maior potencial de impacto sobre a qualidade do produto, a segurança operacional e a continuidade do processo produtivo. A escolha dos modos de falha analisados fundamentou-se na observação direta da operação, no histórico do processo e na percepção técnica dos profissionais envolvidos, priorizando situações recorrentes, de difícil controle ou associadas a riscos sanitários e operacionais relevantes.

As pontuações atribuídas aos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) seguiram critérios técnicos compatíveis com a literatura e com a realidade do processo estudado. O índice de Severidade foi determinado em função da gravidade dos efeitos da falha, especialmente no que se refere à segurança do alimento, à integridade física do operador e ao atendimento dos requisitos produtivos. O índice de Ocorrência considerou a frequência com que as falhas são observadas no processo atual, com base em registros operacionais e na experiência dos operadores e supervisores da área. Já o índice de Detecção foi atribuído conforme a capacidade dos controles existentes em identificar a falha antes que seus efeitos se manifestem no produto ou no processo, sendo menores valores associados a falhas de fácil identificação e maiores valores a falhas de difícil detecção. A inclusão do índice de Detecção na análise permitiu uma avaliação mais completa do risco, viabilizando o cálculo do Número de Prioridade de Risco (RPN) e a adequada hierarquização das ações corretivas e preventivas propostas.

Segue abaixo a fórmula utilizada:

$$RPN = S \times O \times D$$

4.1.6 Capacidade produtiva atual

A Figura 5 (em anexo) apresenta a estrutura das informações coletadas referente ao processo produtivo (observação: os dados reais foram protegidos).

O preenchimento das informações desta planilha subsidiou decisões relacionadas ao que seria proposto neste estudo. Pois, com essa planilha foi possível entender todo o fluxo do produto para derretimento, contendo informações de: média de geração de produtos diariamente; média de derretimento diário; quantidade de produto aguardando derretimento em área; quantidade de produto aguardando derretimento na expedição e bloqueados; quantidade diária de liberação aos tanques; e quantidade armazenada nos tanques de estocagem, reator e tanque de decantação.

4.2 Estado futuro do processo produtivo

4.2.1 Detalhamento da proposta do equipamento

O novo modelo sugerido do equipamento de derretimento tem como objetivo otimizar o processo do reprocesso das gorduras, reduzindo o tempo de derretimento, os esforços ergonômicos e os riscos de acidentes térmicos. A proposta equipamento de derretimento foi idealizada com material aço inoxidável (recomendável para a indústria alimentícia), com o fundo do compartimento declinado, para garantir a facilidade do escoamento da gordura derretida, conexão de tubulação de 2 pol, com conexão de flange, que envia o fluxo de gordura do carrinho, através de uma bomba, diretamente para o tanque de decantação, assegurando a otimização do processo, também conta com a presença de uma porta de acesso na frente do equipamento para facilitar o manuseio do operador para inserir baldes, e conta também com a inserção de equipamentos elétricos, como uma bomba automatizada através de um termostato e aviso sonoro, que será capaz de eliminar processos manuais de envio do produto.

Dentre as principais alterações, destaca-se a inclusão da “portinhola”, permitindo ao operador apoiar o balde antes de inseri-lo completamente no interior do equipamento, modificando assim, a altura que será preciso levantar o balde, ajustado ergonomicamente para eliminar a necessidade de elevação excessiva de peso a uma altura acima de 65 cm, reduzindo o risco de lesões e aumentando a segurança operacional. O protótipo artesanal foi construído em MDF, com dimensões proporcionais à ideia do modelo real.

Esse modelo também serviu como referência prática para compreender a disposição estrutural do carrinho, facilitando a análise dos pontos de solda, a definição das junções metálicas e a avaliação preliminar da viabilidade construtiva do projeto. O modelo possibilitou a definição precisa das medidas, o posicionamento do declive interno e da tubulação de escoamento, além de oferecer uma visualização detalhada da ergonomia proposta. O protótipo também serviu como base para comparações com o carrinho atual, facilitando ajustes antes da fase de fabricação real do equipamento.

A operação do carrinho se dá da seguinte forma: o operador apoia os baldes na portinhola e os introduz no compartimento interno até o limite indicado. Após o fechamento da portinhola, inicia-se a passagem de vapor pela tubulação lateral, que é direcionada ao fundo inclinado do carrinho, promovendo o derretimento uniforme da gordura. O declive interno garante o escoamento eficiente do líquido para o ponto de drenagem, o qual é conectado a uma linha de transferência que direciona o produto até o tanque de decantação. Portanto, a Figura 6 apresenta o protótipo do equipamento proposto em MDF.



Figura 6 - Protótipo do equipamento

O protótipo, em formato quadrado, conta com uma altura e largura de 1,05 metros, com o interior declinado feito com papelão, “portinhola” com abertura de 92 centímetros, juntamente com uma corrente para sustento da abertura da porta e suporte para ficar de pé, com medida de 25 centímetros, feito de madeira. O protótipo foi apresentado e debatido com os operadores da linha, os quais avaliaram como viável sua evolução para uso real, mediante a utilização de materiais apropriados ao ambiente industrial, considerando requisitos de temperatura, resistência e eficiência.

4.2.2 Mapeamento futuro

A partir desta proposta, foi elaborado o estado futuro do processo produtivo em um fluxograma horizontal, como mostra a Figura 7 (em anexo). Com a implementação do equipamento proposto, as atividades seriam reduzidas de 26 para 18 tarefas no total. Além disso, a Figura 8 (em anexo) mostra as alterações no fluxograma vertical do estado futuro.

Como se pôde observar, o fluxograma vertical também sofreu alterações. O fluxograma atual contava com 25 tarefas no total, sendo estas: 17 de operação; 3 de transporte; 3 de espera; 2 de armazenagem e 1 de inspeção, já o fluxograma proposto com a implementação do carrinho conta com 19 tarefas no total, sendo estas: 11 de operação; 5 de transporte; 2 de armazenagem e 1 de inspeção.

4.2.3 Procedimento Operacional Padrão

O POP serviu para padronizar o uso do equipamento de derretimento, garantindo segurança operacional, eficiência no processo e conformidade com as boas práticas de fabricação. O documento foi estruturado em oito itens principais, desde o objetivo até o controle de revisões, o principal objetivo do POP (1) é “padronizar o uso do equipamento de derretimento, garantindo segurança operacional, eficiência no processo produtivo e conformidade com as boas práticas de fabricação”. O próximo item refere-se ao “campo de aplicação” (2) que compreende o setor de

reprocesso neutra batch, sendo voltado especificamente à atividade de derretimento de baldes de gordura de 15 kg e à posterior liberação do produto aos tanques que alimentam o processo produtivo. Na parte de “responsabilidades” (3) foram distribuídas entre os principais agentes envolvidos na operação. O operador é responsável por executar todas as etapas conforme as orientações descritas no POP, enquanto o supervisor deve acompanhar o cumprimento das instruções, garantindo as condições de segurança e ergonomia. A equipe de manutenção tem a função de realizar inspeções periódicas tanto no carrinho quanto nas conexões de vapor e gordura, prevenindo falhas e vazamentos. Na próxima sessão, “materiais e equipamentos necessários” (4) foram incluídos a paleteira para transporte dos pallets, o próprio carrinho de derretimento, a fonte de vapor, o tanque de decantação e o reator, além do uso obrigatório dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), como uniforme, capacete, protetor auricular, luvas, óculos de proteção e botas de segurança. O “procedimento operacional” (6) é descrito de forma detalhada no fluxograma vertical, que representa as etapas de operação do processo de derretimento. Para controle e rastreabilidade, o POP estabelece o preenchimento de registros específicos, como o *checklist* mensal de operação do equipamento e o registro diário da passagem de baldes. Para controle, o POP estabelece o preenchimento de “registros” (7), como o checklist mensal do carrinho e o registro diário da passagem de baldes. Como “anexos” (8), o documento contempla o fluxograma do processo de derretimento e fotografias ilustrativas das etapas críticas e do equipamento em uso. Por fim, o “controle de revisões” (9) foi estruturado na versão 1.0, (primeira versão) e emitida em 26 de setembro de 2025.

4.2.4 Aplicação SDCA

A aplicação da ferramenta SDCA tem o foco de padronizar a operação para utilização do equipamento, como pode-se observar na Figura 9 (em anexo). Com o POP confeccionado, é possível aplicar o SDCA proposto para melhoria contínua da operação e potencial PDCA futuro.

4.3 Discussão dos resultados

4.3.1 Perspectivas de implementação do equipamento na prática na indústria

Juntamente ao equipamento, pode ser colocado algumas melhorias para modernização e automatização do processo de derretimento. Uma delas é a colocação de um termostato e um aviso sonoro, que realiza a comunicação para quando o equipamento estiver cheio. Através da medição da temperatura do interior do compartimento, o termostato acoplado ao equipamento é capaz de enviar um sinal para que o vapor desligue, e automaticamente seja realizado o escoamento da gordura dentro do equipamento.

Com a aplicação dessa tecnologia foi analisada também a possibilidade de utilização desse equipamento para derretimento de caixas de gordura, e não somente baldes. E através dessa dinâmica, é possível definir um novo padrão operacional do processo, impactando no fluxo de movimentação dos operadores e otimização de utilização da planta. É importante considerar que a capacidade produtiva de derretimento se limita devido a atividade de derretimento ser exercida em somente um turno de trabalho, como a FOG trabalha em 3 turnos, seria possível realizar derretimento em no mínimo 2 turnos, e então resolver o problema de demanda do setor.

Avançando para uma etapa real de desenvolvimento, o equipamento deve ser fabricado em aço inoxidável, com as mesmas medidas do atual, com uma tampa readequada para que o tubo de vapor passe para o interior do equipamento sem deixar grandes vãos, será colocado também uma grade em seu interior, e na mesma altura, a realização de uma abertura, para confecção de uma “portinhola”, a ser inserida com correntes e roldanas, para que possibilite o operador a realização da atividade de inserir e retirar baldes, de maneira mais ergonômica, sem realizar movimentos forçados, e ainda contará com um compartimento interno inclinado (com um declive) para facilitar o escoamento da gordura.

Com a implementação do equipamento e colocação da atividade em outro turno, a empresa poderá contar também com uma melhor gestão visual do ambiente, visto que não haveria mais problemas de transbordos. Além disso, outra sugestão é a implantação dos sensores do 5S, tais como,

- Seleção: mantêm na área somente o que é utilizado, como a realização de alteração do equipamento do derretimento, visto que não era eficaz;
- Ordenação: como o próprio equipamento de derretimento que recebeu uma nova destinação, confeccionado com novo tipo de material e características únicas;
- Limpeza: visto que seriam sanados os problemas de transbordos e de produto sendo espalhado pela área;
- Bem-estar: visto que haveria um equipamento adaptado para a melhor exercício da operação durante o derretimento; e
- Autodisciplina: visto que a confecção e aplicação do novo equipamento exigiria uma nova forma de execução do trabalho definida pelo POP.

4.3.2 Impacto do trabalho para o setor produtivo

O estudo busca sanar um problema real que existe na fábrica, a média de geração de produtos não conformes atualmente, não excede a média de capacidade de derretimento, entretanto, o estoque desses produtos, tanto na área, quanto na parte interna antes da liberação, e ainda os pallets bloqueados, demonstram que a previsão para derretimento de tudo que há no

estoque, seria muito longo. Porém, com o novo equipamento e mudança para 2 turnos de operação, é possível realizar o derretimento. Observou-se também, constantes problemas de transbordos, oriundo da baixa capacidade produtiva e falta de operadores especializados, pois a utilização do equipamento deve ser feita de maneira técnica, com o tempo correto de sobragem e retirada dos baldes.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou desenvolver uma proposta de um equipamento industrial do ramo alimentício no setor de derretimento utilizado na operação de derreter gorduras classificadas em baldes. Alguns resultados importantes puderam ser gerados, como a diminuição do tempo de derretimento, diminuição do fluxo de movimentos dos operários, diminuição da quantidade de produto aguardando derretimento expostos em área, e principalmente, aumento da capacidade produtiva do setor, visto que esse era o principal problema a ser abordado no setor.

Este estudo não está livre de limitações. O processo de desenvolvimento de produto simplificado pode haver limitações quanto ao escopo, objetivo do produto e fases de desenvolvimento. A fase de coleta de dados junto aos colaboradores da empresa pode ter sido coletada de forma abrangente e não específica. As abordagens utilizadas da Engenharia de Produção podem ter sido aplicadas de forma abrangente e breve, e não específica e detalhada. Mesmo com as limitações, o presente estudo buscou cumprir com o objetivo, e deixa como recomendação para estudos futuros o acompanhamento da aplicação do equipamento na área e observação da mudança de processo. Outra recomendação para a empresa é a implementação do equipamento desenvolvido neste estudo.

O equipamento visa reduzir a exposição do operador a esforços excessivos e ao calor, por meio de melhorias ergonômicas e operacionais. O estudo fundamenta-se na observação prática do processo atual, na análise dos riscos operacionais e nas oportunidades de aumento de produtividade e segurança. Espera-se, com a implementação da proposta, alcançar melhorias na eficiência do reprocesso de gordura, na integridade física dos colaboradores envolvidos e na conformidade com as metas estabelecidas pela organização.

Referências

- ABIA. Números do setor: A indústria brasileira de alimentos e bebidas representa 10,8 % do PIB brasileiro e gera 2,075 milhões de empregos formais e diretos. 2025. Disponível em: <https://www.abia.org.br/numeros-setor>.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Roteiro de Boas Práticas de Manipulação e POPs*. Brasília: ANVISA, 2019. Disponível em: <https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6512262/Roteiro%2Bde%2BManual%2Bde%2BBoas%2BPr%C3%A1ticas%2Bde%2BManipula%C3%A7%C3%A3o%2Be%2BPOPs%2Bde%2Bhigieniza%C3%A7%C3%A3o%2Be%2Bcontrole%2Bde%2Bvetores/e6dc5676-f7f0-421f-9274-38a9003f40f1>.
- COSTA. *Processos de Modificação de Óleos em Gorduras*. 2013. Disponível em: https://arquivos.ufrrj.br/arquivos/202320923619c63754923df3a931fe216/Processos_de_Modificao_de_leos_em_Gorduras_Refino.pdf.
- HOEFIG, K. et al. A Meta-model for Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA). *arXiv*, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2106.11035>.
- MACHADO, T. S. S., et al. Avaliação de risco e segurança no processo de fundição na indústria metalúrgica. *Revista Produção Online*, 23(3), 5104, 2024. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/5104/2358>.
- PRATA, L. C. *Reciclagem de óleos e gorduras vegetais residuais*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24823/3/ReciclagemOleosGorduras.pdf>.
- RAMALHO, Hugo F.; SUAREZ, Paulo A. Z. A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino. *Revista Virtual de Química*, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013. DOI: 10.5935/1984-6835.20130002.
- RIBEIRO, A. P. B.; MOURA, J. M. L. N. de; GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G. Interesterificação química: alternativa para obtenção de gorduras zero trans. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1369-1376, 2007. DOI: 10.1590/S0100-40422007000500043. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/YZkyX6j8cVSVvrJBbyLNWRy/?format=html>.
- ROBSON, T. S. *Análise do processo de preparação da produção no desenvolvimento de novos produtos*. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011. Disponível em: https://www2.ufjf.br/engenhariadeproducao/wp-content/uploads/sites/322/2014/09/2011_3_Robson.pdf.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SANTOS, P. R.; MENEZES, D. C. Aspectos tecnológicos e de qualidade no processamento de óleos e gorduras comestíveis. *Revista Brasileira de Engenharia de Alimentos*, v. 25, n. 3, p. 56–72, 2019.
- TIRITAN, M. G. Refino de óleos vegetais via extração líquido-líquido em escala piloto com eliminação das etapas de clarificação e desodorização. 2020. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5032/1/LD_PPGTAL_M_Tiritan%2C_Maria_Gabriela_2020.pdf.

VITORIANO, T., BARBOSA, I. R., MENDONÇA, A. P., & RIBEIRO, S. B. Oficina de controle de qualidade de gorduras vegetais. *Revista ELO – Diálogos Em Extensão*, 12. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21284/elo.v12i.15293>.

ANEXOS E APÊNDICES

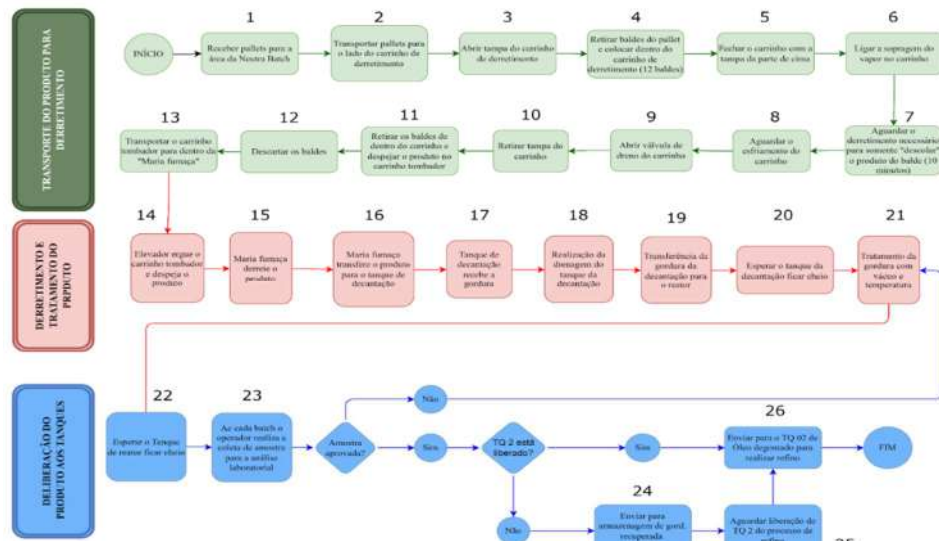


Figura 2 - Fluxograma horizontal estado atual

NÚMERO	DISTÂNCIA	SÍMBOLOS	OPERAÇÃO
1	100,00 m	● → ■ ▽	Recuperar pallets para a área de Nostro Hatch
2	7,00 m - 59,60 m	● → ■ ▽	Transportar pallets para o lado do carrinho de decantamento
3		● → ■ ▽	Abrir tanque do carrinho de decantamento
4		● → ■ ▽	Retirar baldes do pallet e colocar dentro do carrinho de decantamento (12 baldes)
5		● → ■ ▽	Fecher o carrinho com o tanque de parte de cima
6		● → ■ ▽	Ligar e separar o vapor do carrinho
7		● → ■ ▽	Aguardar o decantamento necessário para somente "descola" o produto de baldes (10 minutos)
8		● → ■ ▽	Aguardar o esfriamento do carrinho (5 minutos)
9		● → ■ ▽	Abrir o vidro do lado do carrinho (para sair o excesso de água)
10		● → ■ ▽	Retirar o tanque do carrinho
11		● → ■ ▽	Retirar os baldes do dentro do carrinho e depositar o produto dentro do carrinho transportador
12		● → ■ ▽	Descartar os baldes
13	6,5 m	● → ■ ▽	Transportar o carrinho transportador para o elevador da "Módulo Franca"
14	3,5 m	● → ■ ▽	Elevador segue o carrinho transportador e deposita o produto
15		● → ■ ▽	Módulo Franca descola o produto e libera o vapor, a distância completamente líquido
16	11,3 m	● → ■ ▽	Módulo Franca transfere o produto para o tanque de decantação
17		● → ■ ▽	Tanque de decantação recebe o produto e separa o produto e água
18		● → ■ ▽	Após para a agitação, e realização o desaguamento da água do tanque de decantação
19		● → ■ ▽	Tanque de decantação cheio
20	10,07 m	● → ■ ▽	Tanque de decantação recebe a produção
21		● → ■ ▽	Realização da drenagem do tanque de decantação
22		● → ■ ▽	Esperar o Tanque de decantação ficar cheio
23		● → ■ ▽	Operador realiza o coleta de amostra
24		● → ■ ▽	Laboratório realiza análise de amostra
25		● → ■ ▽	Deliberação do produto para o Tanque

Figura 3 - Fluxograma vertical equipamento atual

		1/9	2/9	3/9	4/9	5/9			1/9	2/9	3/9	4/9	5/9
PRODUTOS A DERRETER (Plataforma)	Cubas	X	X	X	X	X	PRODUTOS GERADOS (ENVASE)	1º TURNO	X	X	X	X	X
	Caixas grandes	X	X	X	X	X		2º TURNO	X	X	X	X	X
	Gordura Vegetal	X	X	X	X	X		3º TURNO	X	X	X	X	X
	Caixas pequenas	X	X	X	X	X		4º TURNO	X	X	X	X	X
	Baldes	X	X	X	X	X							
	Total	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX							
PRODUTOS A DERRETER (FOG)	Cubas (unidade)	X	X	X	X	X	PRODUTOS GERADOS (ENCAIXOTAMENTO)	1º TURNO	X	X	X	X	X
	Caixas grandes (unidade)	X	X	X	X	X		2º TURNO	X	X	X	X	X
	Gordura vegetal (pallet)	X	X	X	X	X		3º TURNO	X	X	X	X	X
	Caixas pequenas (pallet)	X	X	X	X	X		4º TURNO	X	X	X	X	X
	Baldes (pallet)	X	X	X	X	X							
	TOTAL KG	X	X	X	X	X	PALLETS BLOQUEADOS	Pallets (Und)	X	X	X	X	X
								Pallets (Kg)	X	X	X	X	X
PRODUTO DERRETIDO	Cubas (QTD)	X	X	X	X	X	MÉDIA DE ENVIÓ REFINADO	Média de envio Refinado	X	X	X	X	X
	Caixas grandes (QTD)	X	X	X	X	X		Média de derretimento	X	X	X	X	X
	Gordura Vegetal	X	X	X	X	X		Quantidade gerada	X	X	X	X	X
	Caixas pallet	X	X	X	X	X		Média de geração (Kg)	X	X	X	X	X
	Baldes	X	X	X	X	X							
PRODUTO DERRETIDO (Kg)	Cubas Kg	X	X	X	X	X							
	Caixas Grandes Kg	X	X	X	X	X							
	Gordura vegetal Kg	X	X	X	X	X							
	Pallet de caixas Kg	X	X	X	X	X							
	Baldes Kg	X	X	X	X	X							
TOTAL (Kg)	X	X	X	X	X								
ESTOQUE PROCESSO	Tanque decantação	X	X	X	X	X							
	Reator	X	X	X	X	X							
	TQ 13	X	X	X	X	X							

Figura 5 – Planilha de estoque e produtividade

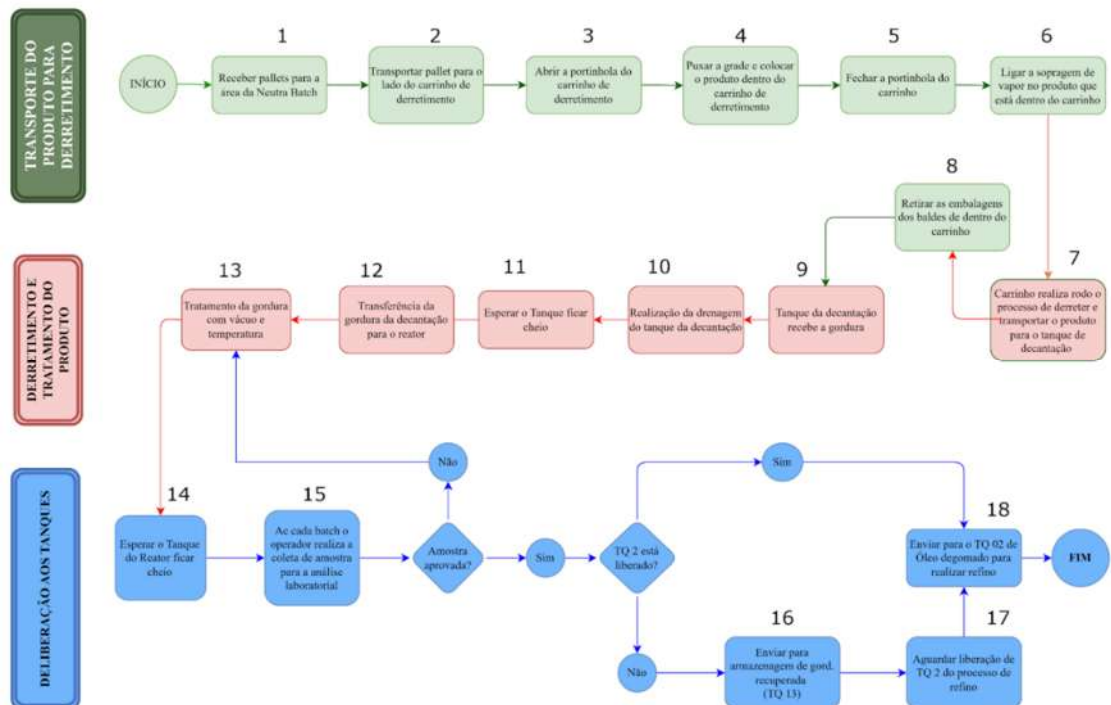


Figura 7 - Fluxograma vertical estado futuro

NÚMERO	DISTÂNCIA	SÍMBOLOS	OPERAÇÃO
1	100,00 m	● → ■ D ▽	Receber pallets para a área da Neutra Batch
2	7,0 m - 50,60 m	● → ■ D ▽	Transportar pallets para o lado do carrinho
3		● → ■ D ▽	Abrir a porta do carrinho de derretimento e puxar grade
4		● → ■ D ▽	Retirar baldes do pallet e colocar na grade do carrinho de derretimento (12 baldes)
5		● → ■ D ▽	Empurrar baldes para dentro do carrinho
6		● → ■ D ▽	Ligar sopragem do vapor do carrinho
7		● → ■ D ▽	Carrinho realiza o derretimento
8	10,5 m	● → ■ D ▽	Carrinho realiza o transporte da gordura para o tanque de decantação (automatizado)
9		● → ■ D ▽	Carrinho emite aviso sonoro para retirada dos baldes vazios
10		● → ■ D ▽	Descartar os baldes
11		● → ■ D ▽	Tanque de decantação recebe a gordura
12		● → ■ D ▽	Realização da drenagem do tanque de decantação
13		● → ■ D ▽	Tanque de decantação cheio
14	18,07 m	● → ■ D ▽	Tanque de decantação transfere gordura diretamente para o reator
15		● → ■ D ▽	Reator recebe a a gordura e operador faz o tratamento com vácuo e temperatura
16		● → ■ D ▽	Reator cheio
17		● → ■ D ▽	Operador realiza a coleta de amostra
18		● → ■ D ▽	Laboratório realiza análise da amostra
19		● → ■ D ▽	Deliberação do produto para o Tanque

●	OPERAÇÃO
→	TRANSPORTE
■	INSPEÇÃO
D	ESPERA
▽	ARMAZENAGEM

Figura 8 - Fluxograma vertical estado futuro

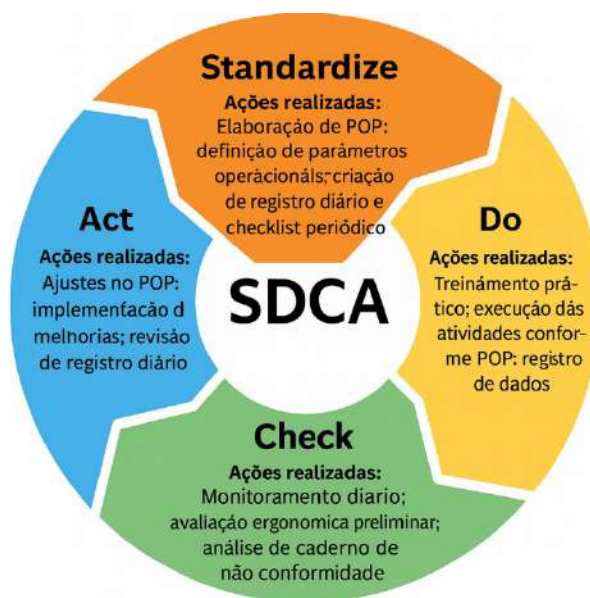


Figura 9 - Desenvolvimento do SDCA

INVENTÁRIO PRELIMINAR DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DA PORTOS DO PARANÁ: EM DIREÇÃO À ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

Tassiane Prisciele da Rosa, tassi.p.rosa@gmail.com

Murillo Vetroni Barros, murillo.barros@unespar.edu.br

Resumo: Os portos têm papel estratégico no comércio internacional, viabilizando o transporte eficiente de mercadorias essenciais à economia global. No cenário nacional, a Portos do Paraná destaca-se por seus avanços de produtividade e eficiência. Portanto, este trabalho tem como objetivos: (i) quantificar preliminarmente as emissões de gases de efeito estufa da empresa Portos do Paraná, relativo ao ano de 2024, utilizando a ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol*; (ii) comparar os resultados encontrados com as emissões do Escopo 1, 2 e 3 de outros portos nacionais; e (iii) propor recomendações para uma economia de baixo carbono para a Portos do Paraná. A pesquisa é exploratória e quantitativa, baseada na coleta de dados no Relatório de Sustentabilidade de 2024 da empresa e na aplicação de um formulário eletrônico. O estudo utilizou a ferramenta do Programa Brasileiro do *GHG Protocol* para mensurar a pegada de carbono nos três Escopos, de forma preliminar, da organização. Essa ferramenta permite mensurar de forma padronizada e confiável as emissões de GEE de uma organização. No Escopo 1, o resultado foi de 117,40 t CO₂ eq. (7,00%), considerando o consumo de óleo diesel e gasolina, emissões fugitivas associadas ao uso de extintores e sistemas de ar-condicionado. Já no Escopo 2, foi de 700,22 t CO₂ eq. (41,74%), considerando o consumo de energia elétrica. No Escopo 3, o resultado foi de 859,83 t CO₂ eq. (51,26%), considerando a geração de resíduos sólidos e emissões de deslocamento casa-trabalho. Além disso, foi estabelecido um indicador para simplificar e padronizar a relação de emissões por caga movimentada, resultando em 0,0000251 t CO₂ eq./t de produto. As estratégias para economia de baixo carbono incluem, eletrificação de equipamentos, gestão de resíduos, matrizes de hidrogênio verde, calculadora online automática para o cálculo dos Escopos, fortalecer as políticas estratégicas-ambientais junto aos *stakeholders*, políticas com iniciativas no mercado de crédito de carbono, estudos aprofundados para a compensação de carbono em áreas de manguezais. Conclui-se, que este estudo representa mais um passo relevante para a construção de uma gestão climática da Portos do Paraná, em direção a uma economia de baixo carbono.

Palavras-chave: Economia de baixo carbono; Emissões de gases do efeito estufa; Descarbonização; Porto de Paranaguá; Portos do Paraná.

PRELIMINARY INVENTORY OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF PORTOS DO PARANÁ: TOWARDS A LOW-CARBON ECONOMY

Abstract: Seaports play a strategic role in international trade, enabling the efficient transport of goods essential to the global economy. In Brazil, Portos do Paraná stands out for its productivity and efficiency advancements. Therefore, this study aims to: (i) quantify the greenhouse gas (GHG) emissions preliminarily of Portos do Paraná in 2024; (ii) compare the results with the emissions of other national seaports; and (iii) propose recommendations for transitioning to a low-carbon economy. The research is exploratory and quantitative, based on data collected from the company's 2024 Sustainability Report and from an electronic survey. The study used the Brazilian GHG Protocol Program tool to preliminarily measure the organization's carbon footprint across its three Scopes. This tool provides standardized and reliable measurement of an organization's GHG emissions. In Scope 1, emissions totaled 117.40 t CO₂ eq. (7.00%), considering diesel and gasoline consumption, as well as fugitive emissions from fire extinguishers and air conditioning systems. In Scope 2, emissions reached 700.22 t CO₂ eq. (41.74%), based on electricity consumption. In Scope 3, emissions amounted to 859.83 t CO₂ eq. (51.26%), considering solid waste generation and home-to-work commuting. Additionally, an indicator was established to simplify and standardize the emissions ratio per cargo handled, resulting in 0.0000251 t CO₂ eq./t of product. Strategies for a low-carbon economy include equipment electrification, waste management, the adoption of green hydrogen technologies, an automatic online calculator for Scope emissions, strengthening strategic environmental policies with stakeholders, initiatives related to the carbon credit market, and in-depth studies on carbon offsetting in mangrove areas. It is concluded that this study represents another relevant step toward building climate management at Portos do Paraná, moving toward a low-carbon economy.

Keywords: Low-carbon economy; Greenhouse gas emissions; Decarbonization; Port of Paranaguá; Portos do Paraná.

1. INTRODUÇÃO

Os portos desempenham um papel central no desenvolvimento econômico global, funcionando como *hubs* logísticos que conectam mercados e viabilizam o fluxo contínuo de mercadorias através do transporte marítimo, sendo considerados a espinha dorsal do comércio internacional e da economia global (WORLD BANK, 2025).

Nesse cenário, o Brasil se destaca pela ampla movimentação de produtos e commodities, batendo recordes a cada ano. Por exemplo, o país é o maior exportador de soja e carne bovina, e o terceiro maior exportador de milho e feijão do mundo (EMBRAPA, 2022). O país é dependente

da importação de insumos utilizados no plantio, como fertilizantes (SAE/PR, 2024). Portanto, para que a entrada e a saída de mercadorias aconteçam, é necessária a participação dos portos e do modal hidroviário.

Os portos do Brasil vêm buscando se adaptar à demanda de importação e exportação, aumentando a capacidade de movimentação, por meio de expansão, investimento em melhores equipamentos e busca por eficiência (PINTO, 2024). Nomeadamente, alguns se destacam, como Portos de Santos, Paranaguá, São Francisco, Rio Grande e outros.

Por serem organizações voltadas à movimentação de produtos, os portos apresentam impactos ambientais significativos. Nesse aspecto, as atividades portuárias são responsáveis por 3% das emissões globais de carbono (ISSA ZADEH et al., 2023). A principal causa da emissão de carbono no setor logístico é a queima de combustível, e os gases do efeito estufa gerados na combustão são os principais responsáveis por causar impactos ambientais negativos, principalmente o dióxido de carbono, gás metano e óxido nitroso (KIRSCHSTEIN e MEISEL, 2015). Conciliar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade é o grande desafio da modernidade.

Diversos países têm adotado medidas para alcançar um equilíbrio de emissões de gases de efeito estufa (GEE) — o chamado “Net Zero”. Nesse contexto, a Índia, o terceiro maior poluidor mundial, comprometeu-se, na COP26, realizada em 2021, a atingir emissões líquidas zero até 2070. O estudo de Narassimhan E. et al. (2024) destaca que a transição energética associada a esse compromisso pode gerar significativos benefícios socioeconômicos, como a criação de empregos e a redução nos custos de energia. Além disso, a própria produção acadêmica sobre Net Zero evoluiu expressivamente nos últimos anos: o trabalho de Hanafi I. et al. (2024) demonstra um crescimento da pesquisa científica no tema, com um número crescente de estudos voltados a identificar caminhos viáveis para alcançar a neutralidade de carbono.

Tendo em vista essa movimentação mundial em direção a reduções das emissões de GEE, as atenções se voltam aos portos. Considerando o impacto evidente das operações relacionadas ao transporte marítimo, Bingham e Mikkelsen (2023) destacam o aumento de custos de transporte para uma transição de combustíveis de zero emissão de gases de efeito estufa. No entanto, cada vez mais os portos estão focados no desenvolvimento sustentável, principalmente em relação à redução dessas emissões. Nesse aspecto, alguns portos que realizam o inventário de GEE podem ser citados, o Porto do Itaquí (2022); o Porto de Santos (2023); o Terminal de Contêiner de Paranaguá (2023); o Porto de Itapoá (2024); a Portos do Paraná (2025).

Situada no estado do Paraná, a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), empresa pública responsável pela administração do Porto de Paranaguá e que se posiciona por

meio da marca comercial “Portos do Paraná”, destaca-se por ser o maior porto graneleiro do hemisfério sul e um dos principais corredores de exportação agrícola, especialmente de grãos e fertilizantes (PORTOS DO PARANÁ, 2024). A organização, nos últimos anos, vem monitorando e relatando as ações com base no relatório de sustentabilidade (ver, PORTOS DO PARANÁ, 2023, 2024), reafirmando o seu compromisso com os princípios ESG (Ambiental, Social e Governança). O relatório foi elaborado com base nos padrões do *Global Reporting Initiative* (GRI). No entanto, para o ano de 2024, o relatório de sustentabilidade (PORTOS DO PARANÁ, 2024) afirma que “ainda no ano de 2024 está em andamento a elaboração do inventário de gases de efeito estufa dos escopos 1, 2 e 3, bem como para posterior elaboração de um Plano de Descarbonização Portuária com previsão para 2025 junto à renomada *Fundación Valenciaport*, vinculada ao Porto de Valência da Espanha.”

Portanto, o presente estudo buscou antecipar a elaboração do inventário de gases de efeito estufa dos Escopos 1, 2 e 3 da Portos do Paraná para o ano de 2024, a partir de uma elaboração preliminar (em menor escala) do inventário. Outra justificativa deste trabalho é que o inventário de emissões de 2023 (PORTOS DO PARANÁ, 2024) apresenta somente resultados em percentuais dos três Escopos e não o número inteiro. Portanto, este estudo utilizou como fonte dos dados dois ambientes, o próprio relatório de sustentabilidade da organização e coleta de informações internas junto à organização. Os dados foram inseridos na ferramenta do *GHG Protocol*, gerando resultados para os três Escopos para o ano de 2024. Além disso, foi possível propor algumas medidas estratégicas orientadas para a redução dos GEE gerados nas operações portuárias.

Assim, os objetivos deste trabalho são: (i) quantificar preliminarmente as emissões de gases de efeito estufa da empresa Portos do Paraná, relativo ao ano de 2024, utilizando a ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol*; (ii) comparar os resultados encontrados com as emissões do Escopo 1, 2 e 3 de outros portos nacionais; e (iii) propor recomendações para uma economia de baixo carbono para a Portos do Paraná. A relevância deste estudo justifica-se pela necessidade de alinhar o desenvolvimento portuário brasileiro às metas nacionais e globais de descarbonização e sustentabilidade. Considerando o papel estratégico da Portos do Paraná no comércio nacional e internacional, é importante compreender suas emissões e propor ações para mitigá-las. A aplicação do *GHG Protocol* contribui para mensurar de forma padronizada o impacto das operações portuárias. A partir do primeiro passo, que é a mensuração, é possível propor estratégias (passo 2) de mitigação ambiental alinhadas às práticas sustentáveis da organização e em projetos de descarbonização. E como terceiro passo, a longo prazo, iniciar políticas de crédito de carbono.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. IMPORTÂNCIA DOS PORTOS NA MODERNIDADE

Os portos representam elementos estratégicos na cadeia logística global, respondendo por mais de 80% do transporte marítimo de mercadorias (UNCTAD, 2024), funcionando como polos logísticos integrados, conectando mercados internacionais e promovendo o desenvolvimento econômico (MUNIM e SCHRAMM, 2018). Como partes da rede logística global, os portos interligam os modais marítimo e terrestre, configurando-se como infraestrutura essencial ao fluxo comercial internacional e ao fortalecimento da economia global.

Além de sua relevância econômica, os portos geram milhões de empregos diretos e indiretos, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) mundial (LIN, 2025). Como exemplo, Mdanat et al. (2024) afirmam que a eficiência operacional portuária impacta diretamente a competitividade das cadeias de suprimentos, tornando-se um fator crítico para a otimização de fluxos logísticos. Os mesmos autores comentam que a melhoria na eficiência dos portos pode reduzir custos logísticos e atrair investimentos, fortalecendo a posição competitiva do país no comércio internacional.

Para a integração com os mercados internacionais, os portos dependem de outros modais para funcionar. Fuchs e Wong (2022) relataram a dependência dos portos dos diversos modais de transporte, como rodovias, ferrovias e hidrovias, primordiais para garantir a eficiência das operações logísticas. Wang et al. (2023) destacaram a importância da infraestrutura multimodal e a necessidade de investimentos para melhorar a conectividade entre os modais de transporte, otimizando o fluxo de mercadorias e reduzindo custos operacionais.

A otimização e eficiência que se evidenciam em alguns estudos internacionais estão diretamente ligadas à busca por tornar as operações portuárias e logísticas mais sustentáveis. Kulagin et al. (2025) reforçam a importância da eficiência operacional na busca de melhor desempenho ambiental, e conseqüentemente, no desempenho econômico. Em outras palavras, se logística não for otimizada, seja através das rotas ou da cadeia de suprimento, tais esforços podem ser em vão.

2.2. OS IMPACTOS AMBIENTAIS NOS PORTOS

Devido à relevância operacional dos portos, eles são responsáveis por uma fração significativa do consumo energético total e pelas emissões de GEE associadas às atividades portuárias e logísticas. Essas emissões não se restringem às provenientes das embarcações que realizam atracagem e transporte de cargas, mas incluem também os impactos das operações terrestres, como movimentação de caminhões, equipamentos de carga e descarga, guindastes, e a infraestrutura física do porto, abrangendo armazéns, sistemas de iluminação, climatização e manutenção (WANG et al., 2023).

Historicamente, desde a Revolução Industrial, o mundo vem emitindo cada vez mais carbono na atmosfera. Diante das alterações climáticas em decorrência das emissões de GEE, ações globais começaram a ser executadas para tentar frear o aquecimento global, como o Acordo de Paris, que estipulou como meta mundial o limite de 1,5°C para o aquecimento global. Para alcançar essa meta, o relatório da UNEP (2024) destacou que os países devem reduzir coletivamente as suas emissões de GEE em 42% até 2030 e 57% até 2035.

Assim como outros setores que contribuem para o aquecimento global, os portos também começaram a se movimentar para diminuir a sua participação da emissão de GEE. Em 2024 a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) começou um estudo para buscar meios de reduzir a emissão de carbono no setor (ANTAQ, 2025). O estudo, intitulado “Diagnóstico de Descarbonização, Infraestrutura e Aplicações do Hidrogênio nos Portos” avalia como os portos estão adaptados para receber os chamados “navios verdes”, que são embarcações que utilizam energia renovável, e analisa as iniciativas voltadas à implementação de energia limpa e à transição para operações de baixo ou zero carbono, mesmo que em longo prazo.

Os autores Wan et al. (2025) afirmaram que, apesar dos desafios envolvidos na transformação dos portos em centros operacionais de baixo carbono, aqueles que são bem planejados desempenham papel estratégico na sustentabilidade ambiental, adotando práticas que reduzem impactos ecológicos e apoiam a transição para uma economia de baixa emissão de carbono. Sun et al. (2025) sugerem que os portos aprimorem a gestão das emissões de GEE por meio da criação de bancos de dados padronizados e de alta qualidade, da adoção de métricas de emissão e da integração coordenada de diferentes estratégias de descarbonização.

Destaca-se que a quantificação das emissões de GEE em *hubs* logísticos, como centros de distribuição e terminais, contribui para o monitoramento do uso de recursos e para o aumento da eficiência das operações, auxiliando gestores na adoção de práticas ambientalmente responsáveis (DOBERS et al., 2023). No entanto, essa quantificação e o controle dos dados ainda constituem um desafio. Freitas e Gervásio (2024) ressaltam a importância da mensuração das emissões de GEE nos portos como etapa essencial para identificar as atividades mais impactantes e desenvolver estratégias de mitigação. Os autores apontam a falta de dados consistentes, o que dificulta a implementação de políticas eficazes de descarbonização no setor.

Somando-se a esse problema, Alamoush (2024) discute os desafios persistentes, como a falta de padronização nas metodologias de medição de emissões e a necessidade de uma abordagem integrada que envolva todos os *stakeholders* do setor portuário. O autor sugere para futuras pesquisas, uma colaboração mais estreita entre academia, indústria e governos, a fim de alcançar os objetivos de descarbonização no setor portuário.

2.3. PANO DE FUNDO DO GHG PROTOCOL

A metodologia conhecida como *GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol)* se insere no contexto global buscando padronizar um meio para mensuração de emissões. Essa ferramenta fornece diretrizes padronizadas para contabilizar emissões diretas e indiretas, abrangendo os Escopos 1, 2 e 3, o que possibilita às empresas adotar práticas consistentes e comparáveis de sustentabilidade. Essa metodologia, conforme Caldeira (2022) afirma, fornece padrões e orientações para que organizações possam medir e gerenciar as emissões de GEE em suas operações, cadeias de suprimentos e produtos, possibilitando relatórios consistentes e estratégias de redução.

Essa padronização não só permite comparações confiáveis entre setores e regiões distintas, como também atua como uma ferramenta estratégica para identificar as principais fontes de emissões, tais como, transporte, energia elétrica, viagens a trabalho, deslocamento casa-trabalho dos colaboradores, resíduos, efluentes e outros. Além disso, o uso do protocolo aumenta a transparência e a confiabilidade das informações ambientais divulgadas, fortalecendo a credibilidade junto a *stakeholders*, investidores e órgãos reguladores (KASPERZAK et al., 2023). Sua implementação é importante para a criação de políticas internas e estabelecimento de metas de mitigação de emissões, orientando a transformação das operações empresariais em práticas mais sustentáveis (RANGANATHAN, 2024).

Os resultados da aplicação do *GHG Protocol* se mostram confiáveis e efetivos. Em nível internacional, um importante exemplo de aplicação foi no porto de *Seattle*, nos Estados Unidos. Utilizando o *GHG Protocol*, em 2023, a divisão Marítima e de Desenvolvimento Econômico alcançou uma redução de 64% nas emissões de Escopos 1 e 2, impulsionada pela adoção de gás natural renovável (GNR) em todos os edifícios da divisão e pelo uso contínuo de diesel renovável em sua frota. A implementação de iluminação LED e melhorias na eficiência energética dos edifícios contribuíram para uma redução significativa (PORT OF SEATTLE, 2024).

No âmbito do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, os inventários GEE devem estar em conformidade com os princípios de contabilização GEE apresentados no *GHG Protocol Corporate Standard* e na norma ISO 14064-1 (2018).

Também seguindo as diretrizes de aplicação do *GHG Protocol*, o porto de Rotterdam, referência em movimentação e importância no comércio internacional, realizou uma avaliação das fontes de emissão e das oportunidades de mitigação no complexo portuário e industrial. O resultado foi uma redução de 10% nas emissões de CO₂ entre os anos de 2022 e 2023 (PORT OF ROTTERDAM, 2023). A aplicação do *GHG Protocol* no porto de Rotterdam exemplifica como a padronização na contabilização e relatório de emissões pode orientar os portos na implementação

de estratégias eficazes para a redução de sua pegada de carbono, alinhando-se com os objetivos climáticos globais e contribuindo para a transição em direção a operações mais sustentáveis.

Já no Brasil, alguns portos também têm desenvolvido inventários de emissões de carbono. O Porto do Itaquí (2022), por exemplo, mensurou as emissões do ano de 2021 para o Escopo 1 em 40% e para o Escopo 2 em 60%, e as emissões de CO₂ biogênico foram de 17,64 t CO₂ eq. Os resultados apresentados no Porto do Itaquí podem refletir em estratégias de gestão corporativa de emissões de GEE que direcionam as atividades da Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP) para um cenário de baixo carbono.

O Porto de Santos (2023) apresentou o inventário de emissões da Autoridade Portuária de Santos (APS) para o ano de 2023, que consolida o terceiro inventário anual de emissões e os resultados integram o relatório de sustentabilidade da companhia. Destaca-se a atividade de dragagem, responsável por 74% do total de emissões não biogênicas de CO₂ eq. (ou 85% do Escopo 1).

De modo semelhante, o Terminal de Contêiner de Paranaguá (2023) possui diversas ações ambientais em curso. No monitoramento registrado, obteve-se o resultado de um total de emissões de 25.307,540 t CO₂ eq. Desse total, 20.660,550 t CO₂ eq. equivalente no Escopo 1 (82%), abrangendo combustão estacionária, combustão móvel e emissões fugitivas; 3.440,336 t CO₂ eq. no Escopo 2 (13%), incluindo a energia elétrica por localização e escolha de compra; e 1.206,654 t CO₂ eq. no Escopo 3 (5%) abrangendo transporte e distribuição *upstream*, resíduos sólidos, efluentes, viagens a negócios e deslocamento casa-trabalho.

Já o Porto de Itapoá (2024) vem mensurando as emissões desde 2020 nos Escopos 1 e 2, e, de forma parcial, o Escopo 3. Foi levado em consideração no Escopo 1: combustão estacionária, combustão móvel, emissões fugitivas, mudança no uso do solo, processos industriais, resíduos sólidos e efluentes líquidos. Para o Escopo 2: abordagem baseada na localização: aquisição de energia elétrica e abordagem baseada na escolha de compra: aquisição de energia elétrica. No Escopo 3: resíduos gerados nas operações e viagens a negócios. O Escopo 1, em 2020, teve um resultado de 7.956,18 t CO₂ eq., e para 2024 atingiu 13.074,71 t CO₂ eq. O Escopo 2 saiu de 2020 com um resultado de 1.172,68 t CO₂ eq. e em 2024 atingiu 3.699,77 t CO₂ eq.

A Portos do Paraná (2025) relatou que, em 2023, foram emitidas cerca de 678 mil toneladas de CO₂ equivalente, distribuídas entre três escopos de análise. O Escopo 1 refere-se às emissões diretas da Autoridade Portuária e representou 2,7% do total. O Escopo 2, que contempla as emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica, somou 0,1%. Já o Escopo 3, que inclui as emissões indiretas de outras atividades relacionadas às operações portuárias, como terminais, modais de transportes terrestres, serviços de apoio portuário e navios, totalizou 97,1%

das emissões de GEE. A maior parte das emissões é proveniente dos navios, uma pequena parcela está relacionada à atuação da Autoridade Portuária devido ao uso de equipamentos elétricos. Outra pequena contribuição é dos demais atores da comunidade portuária, tais como arrendatários, operadores, atividades de dragagem e também do transporte nos modais rodoviário e ferroviário (PORTOS DO PARANÁ, 2024).

Por fim, o *GHG Protocol* contribui para o alinhamento das empresas com os objetivos globais de clima, apoiando estratégias de longo prazo para diminuir emissões e promover o desenvolvimento econômico ambientalmente responsável.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e quantitativa, com o foco em analisar e descrever alguns indicadores de emissões de GEE relacionados às operações da Portos do Paraná. A pesquisa exploratória permite compreender a natureza das emissões portuárias e identificar padrões de emissão ainda pouco investigados, sendo adequada para contextos nos quais a literatura é limitada ou os dados são específicos de uma instituição.

Para o desenvolvimento do estudo de caso, a coleta de dados ocorreu no Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024) e internamente na organização a partir de aplicação de questionário direcionado aos funcionários. Para a análise das emissões, foi utilizada a metodologia do *GHG Protocol*, reconhecida internacionalmente como padrão para contabilização e reporte de GEE. Esse protocolo possibilita a categorização das emissões em Escopos 1, 2 e 3, abrangendo emissões diretas, indiretas relacionadas ao consumo de energia e indiretas ao longo da cadeia de suprimentos, permitindo uma visão completa da pegada de carbono do porto.

Por fim, o estudo adota uma abordagem descritiva, com o objetivo de apresentar os resultados de forma clara e objetiva, com o propósito de gerar informações práticas e estratégicas para a tomada de decisão da Portos do Paraná.

3.1. PROCEDIMENTOS PARA A BUSCA DOS DOCUMENTOS NA LITERATURA

Para atender ao objetivo deste trabalho, foi realizada uma consulta à literatura científica sobre o tema. Foram usados como base 18 artigos científicos de revistas internacionais. Nessa etapa da pesquisa, buscou-se identificar os principais desafios e potenciais soluções relacionadas à sustentabilidade ambiental no setor portuário, principalmente no que se refere às emissões de

GEE. Essa abordagem metodológica permite o mapeamento, a organização e a síntese do conhecimento existente (TRANFIELD et al., 2003).

Já no procedimento de busca dos documentos contendo dados que poderiam dar subsídios de informações a essa pesquisa, foi usada como base a literatura cinzenta, seguindo a metodologia conhecida como *Snowball*, ou “bola de neve”, buscando transparência e rigor metodológico no processo de seleção dos estudos que compõem, sobretudo, conciliando à seção de referencial teórico deste trabalho. Kennedy-Shaffer, L., Qiu, X., & Hanage, W. P. (2021) destacam que essa metodologia é particularmente adequada em contextos nos quais a informação está dispersa, fragmentada ou não sistematizada, permitindo ao pesquisador seguir conexões sociais, profissionais ou temáticas que levam a novos elementos relevantes. Esse método adota uma sequência linear: a partir de um ou mais documentos principais, alinhados ao tema do estudo, identificam-se outros trabalhos por meio da verificação de suas listas de referências.

Foi nessa segunda parte do estudo que realizaram-se buscas em relatórios de sustentabilidade, relatórios ESG e relatórios de inventário de emissões de carbono dos portos no Brasil para identificar quais organizações já mensuram as emissões de GEE e divulgam publicamente seus resultados. Esses documentos serviram para compor a seção de referencial teórico e resultados deste estudo.

3.2. SOBRE A ORGANIZAÇÃO

A Portos do Paraná abrange a administração de dois portos localizados no litoral do estado do Paraná, sendo eles os portos de Paranaguá e Antonina. A organização se destaca como o maior porto graneleiro do país e ocupa a posição de segundo maior porto brasileiro em termos de movimentações gerais de cargas, o que evidencia que a maior parte do fluxo operacional e logístico está concentrada nesse porto. Dessa forma, torna-se evidente que a relevância econômica e estratégica desse porto é substancial, exercendo grande influência sobre a logística portuária e o comércio exterior brasileiro.

Localizado em uma posição geográfica estratégica, a organização encontra-se abrigada em uma baía de águas tranquilas, protegida de grandes intempéries e tempestades, o que favorece operações seguras e contínuas. O acesso marítimo ao porto é realizado por um canal seguro, constantemente dragado e monitorado para garantir a navegabilidade de embarcações de grande porte. Os acessos terrestres são igualmente eficientes, compostos por ramais rodoviários e ferroviários que conectam o porto às principais regiões produtoras do país, permitindo que cargas de diferentes tipos sejam transportadas com maior rapidez e segurança. Este conjunto de condições físicas, estruturais e logísticas torna o porto extremamente atrativo para operações de exportação

e importação, aumentando sua competitividade frente a outros portos nacionais (PORTOS DO PARANÁ, 2024).

A Portos do Paraná mantém constante destaque no cenário nacional devido à sua produtividade e eficiência operacional, sendo frequentemente reconhecida com prêmios e certificações que atestam a qualidade de suas operações. A empresa vem promovendo investimentos contínuos em inovação tecnológica e em programas de compensação ambiental relacionados às atividades portuárias.

Nos últimos anos, a organização implementou mecanismos de monitoramento contínuo para avaliar a influência de suas operações sobre o meio ambiente. A empresa tem divulgado o Relatório de Sustentabilidade, um documento detalhado que apresenta não apenas os resultados operacionais, mas também as ações desenvolvidas para minimizar os impactos ambientais decorrentes das operações portuárias. O documento fornece informações essenciais para compreender como o porto se posiciona em relação às metas de sustentabilidade e às regulamentações ambientais nacionais e internacionais.

O Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024), por exemplo, foi estruturado com base nos padrões internacionais do GRI, garantindo a transparência, confiabilidade e consistência das informações apresentadas. A Figura 1 mostra uma imagem da Portos do Paraná, ilustrando a infraestrutura portuária.

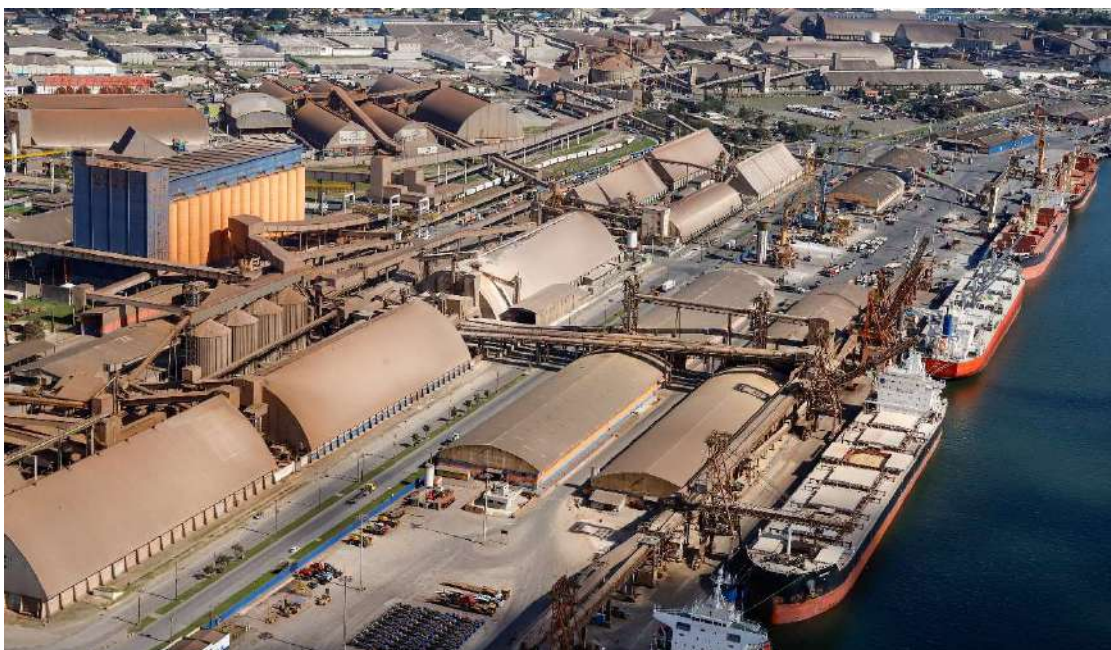


Figura 1 - Portos do Paraná

Fonte: Portos do Paraná (2021)

3.3. COLETA DE DADOS

Inicialmente, realizou-se a seleção dos dados necessários para a estruturação e aplicação da metodologia do *GHG Protocol*. Foram considerados alguns tipos de informações operacionais para garantir que as emissões diretas e indiretas pudessem ser contabilizadas. Portanto, o resultado do inventário de emissões da Portos do Paraná refere-se ao ano completo de 2024. Esse inventário é considerado preliminar, devido ao amplo escopo de dados e informações que o *GHG Protocol* solicita. Mesmo assim, o estudo buscou trazer resultados dos Escopos 1, 2 e 3 de forma parcial, como está descrito na seção 3.4. Com base no conhecimento de mercado, nenhuma empresa até hoje realizou um inventário de Escopo 3 completo, devido à robustez e à complexidade, incluindo a dificuldade de coletar dados de fontes dispersas na cadeia de valor e a falta de padronização.

Três formas de coleta de dados foram utilizadas no estudo. A primeira, concentrou-se em coletar dados públicos que estão disponíveis no Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024), tais como consumo de gás liquefeito do petróleo (GLP), óleo diesel e gasolina; consumo de energia elétrica; quantidade de resíduos gerados e destinados ao aterro sanitário.

A segunda frente de coleta de dados foi através de solicitação direta com a empresa. Os dados foram fornecidos por meio dos protocolos numerados 24.728.090-1 e 24.687.197-3, referente à solicitação consumo gás de aparelhos de ar-condicionado e carga de extintores de incêndio, respectivamente.

A terceira forma de coleta de dados foi a elaboração de uma ficha de coleta eletrônica para identificar informações relativas ao deslocamento dos funcionários. Para isso, foi desenvolvido um formulário, utilizando a ferramenta online *Google Forms*, que foi encaminhado a todos os colaboradores via e-mail corporativo, grupos de WhatsApp e quando necessário, de forma presencial diretamente nos locais de trabalho. As perguntas foram estruturadas considerando, principalmente, a fim de analisar o bairro que cada colaborador reside e o tipo de meio de transporte que ele utiliza para ir trabalhar. As perguntas realizadas estão na Tabela 1. Foram coletadas, ao todo, 81 respostas.

Tabela 1 – Perguntas direcionada aos colaboradores via Google Forms

Pergunta	Opções
Qual é o seu nome completo?	Discursiva
Qual setor está lotado (coordenadoria)?	Discursiva
Qual cidade e bairro você mora?	Discursiva

Qual meio de transporte utiliza para ir ao trabalho?	Carro Moto ônibus Van Bicicleta Vou caminhando
Aproximadamente quanto tempo você leva no trânsito entre a sua casa até a APPA?	Discursiva
Você utiliza veículo elétrico para ir ao trabalho?	Sim Não

Todos os dados coletados das três formas foram organizados e aplicados na planilha específica da ferramenta do *GHG Protocol* Brasil. Os resultados são convertidos em emissões de massa equivalente de CO₂ (ou seja, t CO₂ eq.), utilizando fatores de emissão padronizados pela própria ferramenta.

Além disso, foram sugeridas alternativas que incluem desde mudanças operacionais, como otimização de consumo de combustíveis e energia, até a implementação de tecnologias mais limpas e eficientes, além de estratégias de conscientização e engajamento dos colaboradores e *stakeholders*, e poder ser visto na seção 4.4.

3.4. MÉTODO DE CÁLCULO DO GHG PROTOCOL

O *GHG Protocol* é uma metodologia internacionalmente reconhecida para a contabilização de emissões de GEE em organizações de forma padronizada, transparente e comparável (*GHG Protocol*, 2025). O inventário de emissões de GEE contempla todos os gases regulados pelo Protocolo de Quioto, tais como dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hexafluoreto de enxofre (SF₆); hidrofluorcarbonos (HFCs); perfluorcarbonos (PFCs); trifluoreto de nitrogênio (NF₃). O Protocolo oferece diretrizes detalhadas para identificar, quantificar e reportar todas as fontes de emissões de uma organização. Abaixo estão os aspectos considerados em cada escopo.

Escopo 1 - emissões diretas: Inclui todas as emissões provenientes de fontes que são possuídas ou controladas pela organização, como combustão estacionária, combustão móvel, emissões fugitivas, processos industriais, atividades agrícolas, mudança no uso do solo, resíduos sólidos, efluentes. No caso da Portos do Paraná, isso inclui caminhões internos, guindastes e

empilhadeiras. Foi considerado o consumo de combustível de óleo diesel e gasolina; recarga de extintores e recarga de gás de ar-condicionado.

Escopo 2 - emissões indiretas de energia: Abrange as emissões associadas à energia adquirida e consumida pela organização, normalmente eletricidade, vapor, aquecimento ou resfriamento comprados de fornecedores externos. Essas emissões são indiretas pois ocorrem fora das instalações da empresa, mas resultam do consumo de energia pela organização.

Escopo 3 - outras emissões indiretas: Inclui todas as outras emissões indiretas que ocorrem na cadeia de valor da organização, como bens e serviços comprados, bens de capital, transporte (*inbound* e *outbound*), resíduos gerados nas operações (tratado fora da empresa), viagens a negócios dos funcionários, deslocamento casa-trabalho, bens arrendados, processamento de produtos vendidos, tratamento de fim de vida dos produtos vendidos, franquias, investimentos. Este Escopo é considerado o mais complexo, por isso é praticamente impossível que uma organização consiga mensurar esse escopo de forma abrangente, mas ele é essencial para uma visão completa da pegada de carbono. Foi considerada a quantidade de resíduos gerados e destinados ao aterro sanitário, para os seguintes tipos: papéis 3,2%, resíduos alimentares 48,1%, resíduos de jardim 28,62% e lodo de esgoto 20,08%.

Ainda para o Escopo 3, foi considerado o deslocamento casa-trabalho dos colaboradores. O questionário completo se encontra no Anexo I. O formulário enviado aos funcionários levou em consideração: o local onde o colaborador mora (cidade, bairro); o meio de transporte utilizado para ir ao trabalho; aproximadamente quanto tempo leva no trânsito entre a casa e o trabalho. Com essas informações foi possível calcular a distância casa-trabalho e, a partir do tipo de veículo, calcular quantos litros de combustível o colaborador gasta por ano nesse trajeto.

Nesta etapa, aplicou-se a fórmula de amostragem para determinar o número de funcionários a serem entrevistados, considerando os seguintes parâmetros: população total de 470 funcionários; nível de confiança de 90%; e margem de erro de 10%. A aplicação da fórmula indicou uma amostra mínima de 60 respondentes, ou seja, para os parâmetros definidos, ao menos 60 colaboradores precisavam responder ao questionário. Como já mencionado, a pesquisa obteve um total de 81 respostas e estão mostradas resumidamente na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo da coleta de dados referente ao deslocamento casa-trabalho dos colaboradores

Distância casa-trabalho	Quantidade de respostas	Veículo utilizado
Até 2km	12 respostas	Todos os colaboradores utilizam carros

Acima de 2 km até 5 km	32 respostas	30 colaboradores utilizam carro e 2 colaboradores utilizam moto
Acima de 5 km até 8 km	12 respostas	9 colaboradores utilizam carro e 3 colaboradores utilizam moto
Acima de 8 km até 12 km	12 respostas	10 colaboradores utilizam carro e 2 colaboradores utilizam moto
Acima de 12 km	13 respostas	Todos os colaboradores utilizam carros

No questionário respondido pelos colaboradores, era indicado o bairro em que eles residiam. Foi utilizado o *Google Maps* para fixar o ponto central desse bairro e calcular a distância até a escritório da Portos do Paraná, o Palácio Taguaré. Para fins de cálculo de consumo de combustível, foi considerada essa distância multiplicada por 2 (dois), referente à ida e à volta do trabalho.

Foi considerado, para cada tipo de veículo utilizado, uma média de consumo de combustível. Para os carros, foi utilizado dados do relatório anual do *Automotive Trends Report* (EPA) que estabeleceu o consumo médio entre 9,4 e 11 km/l. Foi fixado o valor de 10,5 km/l, considerando um valor um pouco acima da média aritmética entre os valores de parâmetro, considerando que a região sofre constantemente com a lentidão, consumindo mais combustível. Para as motos, foi considerado um consumo padrão de 45 km/l, referente as motocicletas “econômicas”, comumente utilizadas como meio de transporte de trabalho (HONDA MOTOR, 2023). Foi utilizada a fórmula “(distância * 2) / consumo” e o resultado da soma de todos os cálculos foi de 40.885,43 litros de consumo anual médio de combustível.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos itens considerados no trabalho para a aplicação no *GHG Protocol* e a obtenção do inventário de carbono da Portos do Paraná para o ano de 2024.

Tabela 3 - Resumo da coleta de dados

Escopo do GHG Protocol	Item	Quantidade	Unidade de medida	Fonte de informação
Escopo 1	Consumo de óleo diesel	13.109,36	Litros	Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024)
Escopo 1	Consumo de gasolina	36.975,75	Litros	Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024)
Escopo 1	Consumo de carga de extintores	3.762	Kg	Pedido de acesso à informação via protocolo número 24.728.090-1

Escopo 1	Consumo de gás de ar-condicionado	13	Kg	Pedido de acesso à informação via protocolo número 24.687.197-3
Escopo 2	Consumo de energia elétrica	16.632.205	kWh	Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024)
Escopo 3	Quantidade de resíduos gerados e destinados ao aterro sanitário	258.726	Kg	Relatório de Sustentabilidade da Portos do Paraná (2024)
Escopo 3	Deslocamento casa-trabalho	40.885,43	Litros	Questionário eletrônico aplicado aos colaboradores

Os itens não listados na Tabela 3 não foram considerados neste estudo devido à falta de informações, principalmente pela dificuldade no acesso do dado. Os resultados das emissões dos três Escopos, um indicador de emissão, a comparação com outros portos do Brasil, e recomendações para a organização foram abordados como mostra a próxima seção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho foram descritos de acordo com as seções a seguir: 4.1 aborda os resultados da aplicação dos dados da Portos do Paraná na ferramenta do *GHG Protocol*, gerando os resultados preliminares em termos de pegada de carbono para 2024; 4.2 apresenta um indicador de emissão, com foco em possibilitar a comparação dos resultados da empresa daqui em diante; 4.3 compara os resultados das emissões deste estudo com outros portos brasileiros que realizaram o inventário de emissões; 4.4 apresenta algumas recomendações preliminares para a empresa em direção a uma economia de baixo carbono; 4.5 mostra algumas estratégias de compensação de carbono, principalmente em áreas de manguezais.

4.1 RESULTADOS DO GHG PROTOCOL

Inicialmente, a Tabela 4 apresenta os resultados das emissões de GEE (em t CO₂ eq.) para os três Escopos de análise da Portos do Paraná para o ano de 2024.

Tabela 4 - Resultado das emissões de GEE da Portos de Paraná em 2024

Escopo do <i>GHG Protocol</i>	Categoria	Item	Emissão	Unidade de medida
Escopo 1	Combustão de combustível (móvel ou estacionária)	Consumo de óleo diesel	29,78	t CO ₂ eq.

Escopo 1	Combustão de combustível (móvel ou estacionária)	Consumo de gasolina	61,77	t CO ₂ eq.
Escopo 1	Emissões fugitivas	Consumo de carga de extintores	0,84	t CO ₂ eq.
Escopo 1	Emissões fugitivas	Consumo de gás de ar-condicionado	25,01	t CO ₂ eq.
Escopo 2	Emissões indiretas de eletricidade adquirida	Consumo de energia elétrica	700,22	t CO ₂ eq.
Escopo 3	Resíduos sólidos	Quantidade de resíduos gerados e destinados ao aterro sanitário	393,49	t CO ₂ eq.
Escopo 3	Emissões casa-trabalho	Deslocamento casa-trabalho	514,98	t CO ₂ eq.

O Escopo 1 (emissões diretas) trata da combustão de combustíveis fósseis em fontes móveis, como os veículos próprios, decorrente do consumo de óleo diesel e gasolina utilizados nas operações da empresa. A combustão no caso do diesel foi de 30,40 t CO₂ eq., e da gasolina de 68,98 t CO₂ eq. Como recomenda o *GHG Protocol*, emissões biogênicas (CO₂ biogênico emitido pela queima ou decomposição de biomassa, como madeira, biodiesel, biogás) não foram consideradas pois o CO₂ biogênico faz parte do ciclo natural do carbono e não há aumento líquido de CO₂ atmosférico, diferentemente do CO₂ fóssil, que adiciona novo carbono ao sistema.

As emissões fugitivas do Escopo 1 representam emissões diretas por liberação de gases contidos em equipamentos ou produtos, incluindo refrigeração, ar-condicionado e extintores de incêndio. O consumo de carga de extintores envolve diferentes tipos, como água pressurizada (AP), dióxido de carbono (CO₂), e pó químico seco (tipos PQS, ABC e BC). Portanto, considerou-se a média dos fatores de emissão desses diferentes tipos de extintores, obtendo-se o resultado de 2,50 t CO₂ eq.

As emissões fugitivas de gases refrigerantes, incluídas no Escopo 1, basearam-se na quantidade de gás utilizada para recarga dos sistemas de ar-condicionado durante o período avaliado. A empresa informou o uso de 13 kg de gás refrigerante do tipo R-410A ao longo do ano de 2024, o que resultou em uma emissão de 25,01 t CO₂ eq.

As emissões indiretas de eletricidade adquirida representam o consumo de energia elétrica comprada da rede (correspondente ao Escopo 2). Para o estudo, foi considerado o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional (SIN), de acordo com a ferramenta do *GHG Protocol*. O resultado pode sofrer variação dependendo do ano, pois a matriz é majoritariamente hidrelétrica

no Brasil e há meses que podem ser ativadas termelétricas. O resultado do consumo de energia elétrica da empresa foi de 700,22 t CO₂ eq em emissões.

Os resíduos sólidos podem estar relacionados a diferentes Escopos e categorias, dependendo de onde e como são gerados e tratados. No entanto, foram consideradas apenas as emissões associadas ao tratamento dos resíduos, enquadradas no Escopo 3, uma vez que são destinados a aterro sanitário sem sistema de captação de biogás no município de Paranaguá/PR. Portanto, as emissões provenientes dos resíduos sólidos gerados pela organização totalizaram 393,49 t CO₂ eq.

As emissões de deslocamento casa-trabalho, também do Escopo 3 foram contabilizadas por meio de um formulário eletrônico enviado aos colaboradores da empresa. O resultado mostra uma emissão de 514,98 t CO₂ eq. Portanto, a Tabela 5 apresenta um resumo por Escopo do inventário de emissões da empresa no ano de 2024.

Tabela 5 - Resumo das emissões de GEE por Escopo

Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
117,40 t CO ₂ eq.	700,22 t CO ₂ eq.	859,83 t CO ₂ eq.
7,00%	41,74%	51,26%

Já a Figura 2 apresenta um resumo por Escopo e por categoria do inventário de emissões da Portos do Paraná.

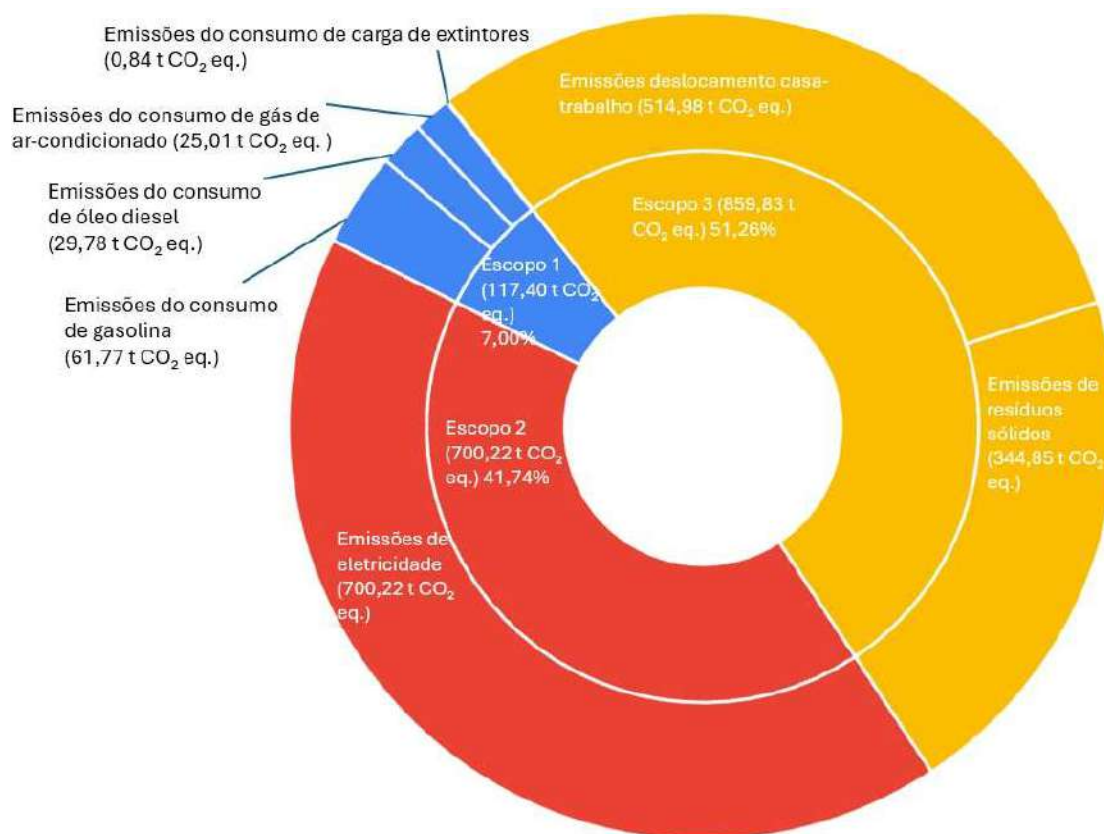


Figura 2 - Resumo das emissões de GEE por categoria

Para fins de padronização e análise comparativa, foi desenvolvido um indicador que relaciona as emissões de gases de efeito estufa à movimentação de produtos. Assim, a próxima seção apresenta o resultado desse indicador, expresso em toneladas de CO₂ equivalente por tonelada de produto (t CO₂ eq./t de produto).

4.2. INDICADOR DE EMISSÃO

Os indicadores estratégicos (KPI - *Key Performance Indicators*) são ferramentas de gestão que permitem quantificar resultados de forma simplificada, possibilitando a avaliação, o monitoramento histórico e a interpretação de dados padronizados, além de auxiliar na criação de estratégias práticas para a tomada de decisão. Neste estudo, optou-se por estabelecer um indicador considerado pertinente aos processos de movimentação de importação e exportação da empresa Portos do Paraná. O indicador considera o total de emissões de GEE por tonelada de carga movimentada em 2024. Considerando que, em 2024, a movimentação da empresa foi de 66.769.001 t de produtos (Portos do Paraná, 2024), o indicador calculado é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado do indicador

Total da emissão	1677,45 t CO ₂ eq.
Total da movimentação	66.769.001 t de produto
Resultado do indicador	0,0000251 t CO₂ eq./t de produto

Este resultado é útil para comparação da pegada de carbono da empresa entre os anos passados e futuros. O acompanhamento da evolução das emissões ao longo dos anos se torna mais coerente pelo uso de indicadores em vez da comparação do resultado total das emissões.

4.3. COMPARAÇÃO COM OUTROS PORTOS DO BRASIL

Esta seção buscou apresentar uma breve comparação dos resultados de inventários de emissões realizados por outros portos brasileiros. Vale ressaltar que essa análise de comparação possui um caráter ilustrativo. Os resultados relatados pelos portos servem apenas como base para indicar a ordem de grandeza das emissões, e não para uma comparação direta, pois cada organização apresenta diferentes processos, tecnologias, modais de transporte, fontes de energia elétrica e demais variáveis operacionais. Além disso, os estudos podem ter sido elaborados com base em cálculos referentes apenas a Escopos parciais, e não ao inventário completo, o que pode levar a erros de interpretação em comparações diretas. Portanto, emissões menores de CO₂ não implicam necessariamente maior eficiência operacional ou ambiental.

A Tabela 7 apresenta os resultados das emissões de GEE por Escopo de alguns portos brasileiros.

Tabela 7 - Comparação dos resultados com outros portos

Porto	Escopo 1		Escopo 2		Escopo 3		Fonte	O que considera
	(valor absoluto t CO ₂ eq.)	Escopo 1 (valor %)	(valor absoluto t CO ₂ eq.)	Escopo 2 (valor %)	(valor absoluto t CO ₂ eq.)	Escopo 3 (valor %)		
Portos do Paraná	Não cita	2,70%	Não cita 0,1%	0,10%	Não cita	97,10%	Portos do Paraná (2025)	Somente o resultado em %, sem detalhar os Escopos. Resultados referente a 2023.

Santos	9.014,43	87,25%	247,17	2,39%	1.070,30	10,36%	Porto de Santos (2023)	Combustão estacionária e móvel, emissões fugitivas, efluentes, mudança de uso do solo (Escopo 1); energia elétrica (Escopo 2); resíduos sólidos, deslocamento dos funcionários (Escopo 3)
Itaqui	268,58	39,89%	404,64	60,11%	Não cita	Não cita	Porto de Itaqui (2021)	Combustão estacionária e móvel, emissões fugitivas (Escopo 1); energia elétrica (Escopo 2)
Terminal de Contêiner de Paranaguá	20660,55	81,64%	3440,33	13,59%	1206,57	4,77%	Terminal de Contêiner de Paranaguá (2023)	Combustão estacionária e móvel, emissões fugitivas (Escopo 1); energia elétrica (Escopo 2); transporte e distribuição upstream, resíduos sólidos, efluentes, viagens a negócios, deslocamento casa-trabalho (Escopo 3)
Wilson Sons (Contêiner)	8.637,4	87,61%	1.221,20	12,39%	Não cita	Não cita	Wilson Sons (2023)	Não cita

Portos do Paraná	117,4	7,00%	700,22	41,74%	859,83	51,25%	Este estudo	Combustão estacionária e móvel, emissões fugitivas (Escopo 1); energia elétrica (Escopo 2); resíduos sólidos, deslocamento dos funcionários (Escopo 3)
------------------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	-------------	--

Conforme aponta a literatura, um dos principais desafios para o controle das emissões de GEE no setor portuário é a padronização dos inventários. Essa dificuldade torna-se evidente ao comparar os dados divulgados pelos portos brasileiros, que adotam critérios distintos de contabilização e apresentação de suas emissões.

Entre os portos analisados, observam-se divergências expressivas especialmente no Escopo 1. Nos casos em que o resultado desse escopo é baixo, percebe-se que isso decorre, em grande medida, do fato de o inventário considerar apenas o consumo da própria organização, excluindo emissões relevantes associadas à operação portuária como um todo.

Um exemplo emblemático é o inventário divulgado pela Portos do Paraná, que contempla apenas suas emissões diretas, deixando de incluir os maiores consumidores de combustíveis fósseis no ambiente portuário: os operadores portuários. Como se trata de uma Autoridade Portuária, sua função é coordenar, fiscalizar e administrar o porto, sem realizar diretamente as operações de movimentação de cargas. Assim, um inventário que incorporasse as emissões de todos os equipamentos efetivamente utilizados nas operações proporcionaria um retrato mais fiel do impacto ambiental real do complexo portuário.

Por outro lado, o Porto de Santos apresenta um inventário mais abrangente. No caso analisado, o Escopo 1 representou 87,25% das emissões, reflexo da inclusão de itens como frota veicular, serviços de dragagem, embarcações, maquinário de obras e manutenção, além de equipamentos utilizados na movimentação de mercadorias. O relatório detalha ainda os limites e fontes consideradas nos Escopos 2 e 3, o que o coloca, juntamente com o relatório do Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP), entre os documentos mais completos e transparentes.

A transparência na divulgação dos relatórios públicos é fundamental para permitir comparações mais consistentes entre organizações. Ainda que a comparação direta não seja

metodologicamente adequada, o conhecimento das fontes inventariadas por cada uma possibilita compreender as diferenças observadas nos resultados.

4.4. RECOMENDAÇÕES PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

A Portos do Paraná tem desenvolvido, nos últimos anos, projetos voltados às áreas de sustentabilidade, biodiversidade e bem-estar da população, conforme apresentado em seus Relatórios de Sustentabilidade (Portos do Paraná, 2023, 2024). No entanto, podem ser destacados projetos mais específicos com foco em uma economia de baixo carbono a médio e longo prazo.

- Projetos de agricultura sustentável: integração lavoura-pecuária-floresta, em parceria com o agronegócio brasileiro, incluindo o uso de biodigestores para a produção de eletricidade, biofertilizante e biometano;
- Projetos de energia renovável: estabelecimento de contratos de energia específica (*market-based*) proveniente de fontes renováveis, por meio do certificado I-REC (*International Renewable Energy Certificate*); tal medida poderá reduzir o impacto das emissões indiretas de eletricidade no Escopo 2;
- Projeto de eletrificação de equipamentos: investir na construção de uma subestação de energia modelo GIS (subestações isoladas a gás) podendo possibilitar o início de uma jornada de eletrificação dos equipamentos internos (redução do Escopo 2);
- Projetos de gestão de resíduos: converter resíduos em recurso energético usando tecnologias como biodigestor, co-digestão, queima controlada, co-processamento (redução do Escopo 1);
- Projetos de hidrogênio verde: instalação de uma planta de eletrólise (como já realizado nos complexos do Pecém, no Ceará, e do Porto do Açu, no Rio de Janeiro), com foco em substituir o uso de diesel, reduzir emissões diretas (Escopo 1), gerar energia renovável e abastecer equipamentos internos com hidrogênio;
- Projeto de estímulo à caronas: incentivar o compartilhamento de veículos para deslocamento ao trabalho, adotando ações de engajamento junto aos colaboradores, para priorizar meios de transporte de menor impacto ambiental (redução do Escopo 3);
- Projeto de desenvolvimento de uma calculadora online para geração automática de resultados em *dashboards* das emissões dos Escopos 1, 2 e 3;
- Elaborar um Índice de Desempenho Ambiental, semelhante ao desenvolvido pela ANTAQ (2025), monitorando as emissões de GEE em uma plataforma online (usando o *Power BI*), com resultados estratégicos em termos gerais, por carga e por distância;
- Fortalecer as políticas estratégicas ambientais com metas claras de redução de emissões nos Escopos 1, 2 e 3, relatando publicamente, anualmente e ampliando a transparência junto aos *stakeholders*;

- A longo prazo, implementar políticas com iniciativas no mercado de crédito de carbono.

4.5. ESTRATÉGIA DE COMPENSAÇÃO

Mesmo com ações de redução, mitigação e projetos, é difícil atingir o nível zero de emissões. Portanto, as compensações de carbono são importantes para promover o equilíbrio, ou seja, de um lado, a organização emite o CO₂; de outro, busca compensar essas emissões.

De acordo com os resultados deste estudo, a Portos do Paraná precisaria compensar um valor total de 1677,45 t CO₂ eq. para o ano de 2024. Desse modo, além das opções listadas na seção 4.4 (Recomendações para economia de baixo carbono) para compensação, uma estratégia interessante de compensação consiste em áreas de manguezais (ecossistemas costeiros), conhecida como carbono azul. O projeto de carbono azul pode ser quantificado em crédito de carbono, identificando a área de plantio, estabelecendo o cuidado e a proteção que a empresa precisa ter sobre a área para fins de compensação. O cuidado com áreas de manguezais gera impacto positivo na opinião pública e proporciona outros benefícios ambientais à organização. Por isso, uma das principais recomendações deste estudo é o aprofundamento do conhecimento sobre as áreas de manguezais, viabilizando projetos de cuidado, proteção e compensação de carbono, devido ao fato da organização estar localizada em uma região próxima a esse ecossistema nativo.

5. CONCLUSÕES

Este estudo buscou (i) quantificar preliminarmente as emissões de gases de efeito estufa da empresa Portos do Paraná, relativo ao ano de 2024, utilizando a ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol*; (ii) comparar os resultados encontrados com as emissões do Escopo 1, 2 e 3 de outros portos nacionais; e (iii) propor recomendações para uma economia de baixo carbono para a Portos do Paraná. Para isso, utilizou-se a ferramenta *GHG Protocol* Brasil, que se mostrou prática e eficiente na geração de resultados preliminares para os Escopos 1, 2 e 3 da organização. Os principais resultados apontaram emissões de 117,40 t CO₂ eq. (7,00%) no Escopo 1; 700,22 t CO₂ eq. (41,74%) no Escopo 2; e 859,83 t CO₂ eq. (51,26%) no Escopo 3, totalizando 1.677,45 t CO₂ eq. para o ano de 2024. No Escopo 1 foram consideradas as emissões provenientes da combustão de combustíveis (óleo diesel e gasolina) e das emissões fugitivas (carga de extintores e gás de ar-condicionado). No Escopo 2 foi considerado o consumo de eletricidade, e no Escopo 3, a geração de resíduos sólidos e as emissões de deslocamento casa-trabalho. Além disso, foi estabelecido um indicador para simplificar e padronizar a relação de emissões por caga movimentada (t CO₂ eq./t de produto). Esse indicador, criado neste estudo, tenta gerar um resultado que possa ser usado em comparação com outros resultados da empresa daqui em diante, permitindo comparar e avaliar o

nível de avanço entre emissões de GEE e movimentação de produtos. Portanto, o resultado do KPI foi de 0,0000251 t CO₂ eq./t de produto.

Para uma estratégia de uma economia de baixo carbono, os principais projetos de recomendação foram, eletrificação de equipamentos, gestão de resíduos, matrizes de hidrogênio verde, calculadora online automática para o cálculo dos Escopos, fortalecer as políticas estratégicas-ambientais junto aos *stakeholders*, políticas com iniciativas no mercado de crédito de carbono, estudos aprofundados para a compensação de carbono em áreas de manguezais (a lista completa e detalhada pode ser vista na seção 4.4). Todavia, o processo de elaboração deste inventário de emissões está sujeito a variações na qualidade dos dados em virtude de incertezas inerentes ao processo, o que se mostrou uma das limitações do estudo. Da mesma forma, a coleta de dados pode ter ocorrido de forma geral, sem a integração direta com todos os setores da empresa. Parte das informações foi obtida nos Relatórios de Sustentabilidade, que podem conter dados limitados. Considerou-se o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional (SIN) para 2024. Ainda que a empresa relate que a maior parte da energia utilizada seja proveniente de fontes renováveis, uma limitação importante é a falta de detalhamento sobre a origem dessa energia (hidrelétrica, eólica, solar, etc.), o que impediria o cálculo mais preciso pelo *GHG Protocol*, especialmente considerando o uso de energia do mercado livre. Outra limitação foi a não consideração de emissões biogênicas, conforme recomendado pela ferramenta.

Conclui-se, que este estudo representa mais um passo relevante para o avanço de uma gestão climática na Portos do Paraná. O inventário de emissões fornece subsídios para decisões estratégicas, fomenta a transparência ambiental, e fortalece o compromisso da empresa com práticas sustentáveis. Espera-se que os resultados apresentados sirvam como base para estudos futuros, aprimoramento dos dados e implementação efetiva das ações propostas, principalmente em creditação de carbono em áreas de manguezais. O estudo também contribui para a consolidação de uma gestão portuária cada vez mais responsável e alinhada às metas globais de mitigação das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

Alamouh, A. S. (2024) Trends in port decarbonisation research: are we reinventing the wheel?. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 71, 101478.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2025) Índice de Desempenho Ambiental. *Inventário aquaviário das emissões de GEE*. Disponível em: <https://agenciainfra.com/blog/setor-portuario-tera-primeiro-inventario-de-gases-do-efeito-estufa/>. Acesso em: 07 out. 2025.

Bingham, C.; Mikkelsen, T. (2023) Understanding Maritime Decarbonization's Impacts on Trade Costs to Unlock a Just Transition. *UNCTAD News*, 26.

Caldeira, R. da S. et al. (2022) Opportunities for GHG Emission Reductions in the Brazilian Graphic Industry Through a Mitigation Plan. *Ambiente & Sociedade*, 25, 02102.

Dobers, K. et al. (2023) Sustainable logistics hubs: greenhouse gas emissions as one sustainability key performance indicator. *Transportation Research Procedia*, 72

EMBRAPA. (2022) Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos>. Acesso em: 07 out. 2025.

EPA. (2022). *The 2022 EPA Automotive Trends Report: Greenhouse Gas Emissions, Fuel Economy, and Technology since 1975*. U.S. Environmental Protection Agency.

Freitas, D.; Gervásio, H. The challenge of benchmarking carbon emissions in maritime ports. *Environmental Pollution*, v. 363, p. 125170, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125170>

Fuchs, S.; Wong, W. F. Multimodal transport networks, 2022. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/270456/1/1818342154.pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

GHG PROTOCOL. GHG Protocol - Padrões revisados para contabilização de emissões de gases de efeito estufa. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

Hanafi, I., et al. (2024). *The evolution of net zero emissions research: A bibliometric investigation. Scientific African*.

Honda Motor Co. (2025). *Biz 110i – ficha técnica*. In Honda Brasil.

ISO. International Organization for Standardization. Parte 1: Especificação com orientação no nível da organização para quantificação e relato de emissões e remoções de gases de efeito estufa. ISO 14064-1:2018.

Issa Zadeh, S. B., López Gutiérrez, J. S., Esteban, M. D., Fernández-Sánchez, G., & Garay-Rondero, C. L. (2023). Scope of the literature on efforts to reduce the carbon footprint of seaports. *Sustainability*, 15(11), 8558.

Kasperzak, R., Kureljusic, M., Reisch, L., & Thies, S. (2023). Accounting for carbon emissions—Current state of sustainability reporting practice under the GHG Protocol. *Sustainability*, 15(2), 994.

Kennedy-Shaffer, L., Qiu, X., & Hanage, W. P. (2021). *Snowball sampling study design for serosurveys early in disease outbreaks*. *American Journal of Epidemiology*, 190(9), 1906–1914.

Kirschstein, T., & Meisel, F. (2015). GHG-emission models for assessing the eco-friendliness of road and rail freight transports. *Transportation Research Part B: Methodological*, 73, 13–33.

Kulagin, V., Kuklina, A., & Grushevenko, D. (2025). The impact of logistics and political decisions on greenhouse gas emissions in market transformation. *Carbon Research*, 4(1), 8

Mdanat, M. F., Khasawneh, A. L., Almaaitah, M. F., & Al-Kilidar, H. (2024). Drivers of port competitiveness among low-, upper-, and high-income countries. *Sustainability*, 16(24), 11198.

Munim, Z. H., & Schramm, H. J. (2018). The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: The mediating role of seaborne trade. *Journal of Shipping and Trade*, 3(1), 1–19.

Narassimhan, E., Schreiber, F., Baskaran, T., & Somanathan, E. (2024). Is net zero net positive? Opportunities and challenges for pursuing a socio-economically sensitive net-zero transition for India. *Climate Policy*.

Pinto, B. D., Souza, M. R., & Figueiredo, A. P. (2024). Análise da eficiência operacional em portos brasileiros. *Revista Exatas*.

PORT OF ROTTERDAM. Monitoring greenhouse gas emissions 2023, 2023. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/strategy-and-research/monitoring-greenhouse-gas-emissions/2023>. Acesso em: 07 out. 2025.

PORT OF SEATTLE. Measuring Greenhouse Gas Emissions at Port of Seattle. 2024. Disponível em: <https://www.portseattle.org/page/measuring-greenhouse-gas-emissions-port-seattle>. Acesso em: 08 out. 2025.

PORTO DE ITAPOÁ. Registro público de emissões. 2024. Disponível em: <https://registropublicodeemissoes.fgv.br/estatistica/estatistica-participantes/3657>. Acesso em: 31 out. 2025.

PORTO DE SANTOS. (2023). Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/wp-content/uploads/Inventario-de-GEE-2023-Final-com-Anexos.pdf>. Acesso em: 31 out. 2025.

PORTO DO ITAQUI. Inventário de emissões 2021. 2022. <https://www.portodoitaqui.com/files/arquivos/Ciclo-2021.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2025.

PORTOS DO PARANÁ. 2021. Disponível em: <https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Galeria-de-Imagens/Corex-registra-alta-de-6-em-julho>. Acesso em: 31 out. 2025.

PORTOS DO PARANÁ. Portos do Paraná mede pegada de carbono e prepara plano de descarbonização. 2025. Disponível em: <https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Noticia/Portos-do-Parana-mede-pegada-de-carbono-e-prepara-plano-de-descarbonizacao>. Acesso em: 01 out. 2025.

PORTOS DO PARANÁ. Relatório de Sustentabilidade. 2023. Disponível em: https://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos_restritos/files/documento/2024-12/APPA_RS2023_PI_PT_V1.3%20%20%281%29.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

PORTOS DO PARANÁ. Relatório de Sustentabilidade. 2024. Disponível em: https://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos_restritos/files/documento/2025-04/APPA_RS2024_PI_PT_V1.4-2_0.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

Ranganathan, J. E-liabilities vs. GHG protocol approaches to emissions reporting: what you need to know. 2024. Disponível em: <https://www.wri.org/technical-perspectives/e-liabilities-vs-ghg-protocol-emissions-reporting>. Acesso em: 08 out. 2025.

SAE/PR. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Fertilizantes: panorama e perspectivas. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.

Sun, R., Zhao, X., Liu, T., & Chen, Y. (2025). A comprehensive analysis of strategies for reducing GHG emissions in maritime ports. *Marine Policy*, 171, 106455.

TERMINAL DE CONTÊINER DE PARANAGUÁ. Inventário de emissões de GEE. 2023. Disponível em: <https://www.tcp.com.br/wp-content/uploads/2025/02/Inventario-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa-2022-portugues.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2025.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222.

UNCTAD. Review of Maritime Transport. 2023. Disponível em: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>. Acesso em: 31 out. 2025.

UNEP. United Nations Environment Programme. (2024) Emissions Gap Report 2024. Nairobi: UNEP, 2024.

Wan, Z., Li, F., He, Y., & Zhao, P. (2025). Transforming ports for a low-carbon future: Innovations, challenges, and opportunities. *Ocean & Coastal Management*, 264, 107636.

Wang, G., Liu, J., & Chen, Z. (2023). Research on accessibility of port collection and distribution system from the perspective of carbon emissions. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1330717.

WILSON SONS. Relatório de Sustentabilidade 2022. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/8284de4a-426a-465a-beab-92abeabafc97/e0fa3197-951c-3868-8179-d22a7365bff4?origin=1>. Acesso em: 30 out. 2025.

WORLD BANK. Sustainable Development in Shipping and Ports. 2025. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/brief/sustainable-development-in-shipping-and-ports>.

Acesso em: 07 out. 2025.

ANEXO I – Resultado do questionário destinado aos colaboradores

Qual cidade e bairro você mora?	Qual meio de transporte utiliza para ir ao trabalho?	Aproximadamente quanto tempo você leva no trânsito entre a sua casa até a APPA?	Você utiliza veículo elétrico para ir ao trabalho?	Distância (km)	Consumo diário (litros) Distância * 2 (ida e volta) *10,5 (média de carros) ou 45 média de moto	Consumo anual (litros) Consumo diário * 22 dias úteis mensais * 12 meses
Leblon	Carro	3 MIN	Não	1,6	0,304761905	80,45714286
Costeira/Paranaguá	Carro	5 minutos	Não	1,7	0,323809524	85,48571429
Costeira/Paranaguá	Carro	5 minutos	Não	1,7	0,323809524	85,48571429
Costeira/Paranaguá	Carro	5 minutos	Não	1,7	0,323809524	85,48571429
Costeira/Paranaguá	Carro	5 MINUTOS	Não	1,7	0,323809524	85,48571429
Paranaguá - Alto São Sebastião	Carro	5 minutos	Não	1,9	0,361904762	95,54285714
Paranaguá - Alto São Sebastião	Carro	Em média 5 minutos	Não	1,9	0,361904762	95,54285714
Paranaguá - João Gualberto	Carro	8 min	Não	2	0,380952381	100,5714286
Paranaguá - João Gualberto	Carro	5 minutos	Não	2	0,380952381	100,5714286
Paranaguá - João Gualberto	Carro	10 minutos	Não	2	0,380952381	100,5714286
Paranaguá - João Gualberto	Carro	5 minutos	Não	2	0,380952381	100,5714286
Paranaguá - João Gualberto	Carro	5, 10 minutos, mas depende muito de pegar o trem.	Não	2	0,380952381	100,5714286
Paranaguá Bockmann	Carro	5 minutos	Não	2,2	0,419047619	110,6285714
Paranaguá Bockmann	Carro	5m.	Não	2,2	0,419047619	110,6285714
Rocio	Carro	5 MIN	Não	2,3	0,438095238	115,6571429
Paranaguá - Tuiuti	Carro	10 minutos	Não	2,4	0,457142857	120,6857143
Paranaguá - Tuiuti	Moto	5 a 10 minutos	Não	2,4	0,106666667	28,16
Paranaguá - Tuiuti	Carro	7 minutos	Não	2,4	0,457142857	120,6857143
Paranaguá- Campo Grande	Carro	10 min	Não	2,6	0,495238095	130,7428571
Alvorada - Paranaguá-PR	Carro	5 a 7 minutos	Não	3	0,571428571	150,8571429
Paranaguá/ Vila Paranaguá.	Carro	15 MIN	Não	3	0,571428571	150,8571429
Paranaguá/ Vila Paranaguá.	Carro	15 minutos em média.	Não	3	0,571428571	150,8571429
Centro Histórico	Carro	10 minutos	Não	3	0,571428571	150,8571429
Centro Histórico	Carro	5-10 minutos	Não	3	0,571428571	150,8571429
Centro Histórico	Carro	15 minutos	Não	3	0,571428571	150,8571429
Ponta do Caju	Carro	10 MINUTOS	Não	3,3	0,628571429	165,9428571
Paranaguá, Palmital	Carro	08 minutos	Não	3,5	0,666666667	176
Paranagua, Cruzeiro	Carro	20 minutos	Não	3,5	0,666666667	176
Paranaguá, Palmital	Carro	8 minutos	Não	3,5	0,666666667	176
Paranaguá, Palmital	Carro	5 à 10 minutos	Não	3,5	0,666666667	176

Paranaguá - Bairro Eldorado	Carro	10 min	Não	3,5	0,666666667	176
J.Eldorado Paranagua	Carro	5 minutos	Não	3,5	0,666666667	176
Vila Guarani	Carro	10 minutos	Não	3,6	0,685714286	181,0285714
Paranaguá - Correia Velho	Moto	15min	Não	3,9	0,173333333	45,76
Jardim Araça	Carro	10 minutos	Não	3,9	0,742857143	196,1142857
Paranaguá - Correia Velho	Carro	7 minutos	Não	3,9	0,742857143	196,1142857
PARANAGUÁ	Carro	DE 7 A 10 MIN	Não	3,9	0,742857143	196,1142857
Paranaguá - Estradinha	Carro	De 5 a 8 minutos	Não	4	0,761904762	201,1428571
Paranaguá - Estradinha	Carro	15 minutos	Não	4	0,761904762	201,1428571
Vila Horizonte	Carro	10 minutos	Não	4,2	0,8	211,2
Paranaguá, bairro Itiberê	Carro	10 minutos	Não	4,3	0,819047619	216,2285714
Paranaguá - Emboguaçu	Carro	10 MIN	Não	4,5	0,857142857	226,2857143
Paranaguá - Emboguaçu	Carro	5 minutos	Não	4,5	0,857142857	226,2857143
Paranaguá - Emboguaçu	Carro	10 minutos	Não	4,5	0,857142857	226,2857143
São Vicente	Carro	12 minutos	Não	5,5	1,047619048	276,5714286
São Vicente	Carro	10MIN	Não	5,5	1,047619048	276,5714286
São Vicente	Moto	De moto 20 minutos	Não	5,5	0,244444444	64,53333333
São Vicente	Moto	15 minutos	Não	5,5	0,244444444	64,53333333
São Vicente	Carro	15 minutos	Não	5,5	1,047619048	276,5714286
Paranaguá	Carro	15/20 minutos	Não	5,5	1,047619048	276,5714286
Paranaguá, Jardim Guaraituba	Carro	10 mi	Não	6,1	1,161904762	306,7428571
Paranaguá, Jardim Guaraituba	Carro	15	Não	6,1	1,161904762	306,7428571
Paranaguá - Vila do Povo	Carro	20 minutos	Não	6,2	1,180952381	311,7714286
Parque São João	Moto	20 / 25 MINUTOS	Não	7,8	0,346666667	91,52
Parque São João	Carro	20 MINUTOS	Não	7,8	1,485714286	392,2285714
Paranaguá, Labra	Carro	15 min	Não	7,9	1,504761905	397,2571429
Paranaguá, Divinéia	Carro	20 minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	De dez a quinze minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	20 minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	15 minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	20 minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	15 a 20 minutos	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá, Divinéia	Carro	15 MIN	Não	8,3	1,580952381	417,3714286
Paranaguá Nilson Neves	Carro	25 minutos	Não	9,2	1,752380952	462,6285714

Parque Agari/ Paranaguá	Carro	de 20 a 30 minutos - depende do transito	Não	9,7	1,847619048	487,7714286
Parque Agari/ Paranaguá	Carro	20min	Não	9,7	1,847619048	487,7714286
Jardim Paranaguá	Moto	20 min	Não	11,7	0,52	137,28
Paranaguá, bairro Jardim Ouro Fino	Moto	25 minutos	Não	12	0,533333333	140,8
Paranaguá, Alexandra	Carro	30 min	Não	18,2	3,466666667	915,2
Pontal do Paraná- Praia de Leste	Carro	40 a 50 minutos	Não	29,5	5,619047619	1483,428571
Pontal do Paraná- Praia de Leste	Moto	40 minutos	Não	29,5	1,311111111	346,1333333
Pontal do Paraná- Praia de Leste	Carro	20 a 30 minutos	Não	29,5	5,619047619	1483,428571
Santa Terezinha - Pontal do Paraná	Carro	35 minutos	Não	31,3	5,961904762	1573,942857
Pontal do Paraná	Carro	40 minutos	Não	31,3	5,961904762	1573,942857
Centro- Morretes	Carro	40 minutos	Não	41	7,80952381	2061,714286
Matinhos bairro rivieira	Carro	50 minutos	Não	45,1	8,59047619	2267,885714
Balneário Currais - Matinhos Pr	Carro	35 a 55 minutos	Não	45,1	8,59047619	2267,885714
Antonina, Barigui	Carro	1h15	Não	56,1	10,68571429	2821,028571
Antonina	Carro	20 minutos	Não	56,1	10,68571429	2821,028571
Antonina	Carro	uma hora	Não	56,1	10,68571429	2821,028571
Curitiba	Carro	01:20	Não	91	17,33333333	4576

PROPOSTA DE REDUÇÃO DE DESLOCAMENTOS DE EMPILHADEIRAS PELA ANÁLISE DO LAYOUT EM UMA INDÚSTRIA DE COMPENSADOS

Anna Luiza de Camargo Silva (anna.silva.511@estudante.unespar.edu.br)

Everton Luiz Vieira (everton.vieira@unespar.edu.br)

Resumo: A indústria de compensados desempenha um papel essencial na cadeia produtiva do setor madeireiro brasileiro. Esses ambientes produtivos possuem processos sequenciais, com forte dependência logística interna e fluxo de movimentação de materiais, o que torna o layout fabril um fator determinante para o desempenho operacional. Nesse contexto, compreender como a organização dos espaços influencia o transporte interno, especialmente o uso de empilhadeiras é fundamental. Assim, este estudo buscou a análise do processo produtivo de uma indústria de compensados localizada em Santa Catarina com o objetivo geral de identificar os desperdícios presentes na movimentação das empilhadeiras e propor soluções de melhoria usando algumas ferramentas da Engenharia de Produção. Para isso, foram mapeados o layout atual, o fluxo de materiais, pessoas e processos, além da movimentação interna por meio do diagrama de espaguete e do levantamento das distâncias percorridas pelas empilhadeiras. Os resultados evidenciaram que grande parte das atividades realizadas correspondia a movimentações que não agregam valor, especialmente nos deslocamentos entre secadores, estoque e setor de colagem. A partir do diagnóstico, foram desenvolvidas propostas de reorganização espacial, incluindo a criação de um estoque secundário, realocação de setores, uso de esteiras rolantes e implementação de sinalização preventiva. Entre as alternativas, a proposta de criação de um estoque secundário mostrou-se a mais viável, reduzindo em 44,2% as distâncias percorridas pela empilhadeira responsável pelo abastecimento dos secadores. Conclui-se que a aplicação de ferramentas de análise de layout permite ganhos operacionais significativos, otimizando o fluxo produtivo, reduzindo desperdícios e contribuindo para a melhoria contínua do processo.

Palavras-chave: Layout industrial; Melhoria contínua; Diagrama de espaguete; Fluxograma; Engenharia de Produção.

PROPOSAL FOR REDUCING FORKLIFT MOVEMENT THROUGH LAYOUT ANALYSIS IN A PLYWOOD FACTORY

Abstract: The plywood industry plays an essential role in the Brazilian timber sector's production chain. These production environments have sequential processes, with strong internal logistical dependence and material flow, making the factory layout a determining factor for operational performance. In this context, understanding how the organization of spaces influences internal transport, especially the use of forklifts, is fundamental. Thus, this study sought to analyze the production process of a plywood industry located in Santa Catarina with the general objective of identifying waste present in forklift movement and proposing improvement solutions using some Production Engineering tools. To this end, the current layout, the flow of materials, people and processes, as well as internal movement were mapped using spaghetti diagrams and by surveying the distances traveled by forklifts. The results showed that a large part of the activities performed corresponded to movements that do not add value, especially in the displacements between dryers, stock and the gluing sector. Based on the

diagnosis, spatial reorganization proposals were developed, including the creation of a secondary stockroom, relocation of sectors, use of conveyor belts, and implementation of preventive signage. Among the alternatives, the proposal to create a secondary stockroom proved to be the most viable, reducing the distances traveled by the forklift responsible for supplying the dryers by 44,02%. It is concluded that the application of layout analysis tools allows for significant operational gains, optimizing the production flow, reducing waste, and contributing to the continuous improvement of the process.

Keywords: Industrial layout; Continuous improvement; Spaghetti diagram; Flowchart; Production engineering.

1. INTRODUÇÃO

Em um mercado de compensados cada vez mais competitivo, é essencial que as empresas priorizem a melhoria contínua em todos os seus setores. Segundo Alderman e Goodwin (2023), a evolução das práticas sustentáveis e da inovação tecnológica é fundamental para que a indústria de produtos de madeira, incluindo compensados, mantenha-se competitiva e atenda às exigências do mercado global. Nesse contexto, o arranjo físico (também denominado layout industrial) destaca-se como um elemento estratégico da gestão da produção. A definição de um layout adequado visa promover melhorias nos processos, reduzir custos, otimizar o fluxo operacional e eliminar atividades que não agregam valor ao produto (Krajewski *et al.*, 2009).

De forma complementar um layout eficaz reduz movimentações desnecessárias, melhora o fluxo de materiais e contribui diretamente para o aumento da produtividade, qualidade e desempenho das organizações (Chase *et al.*, 2006; Slack, 2015). Martins e Laugeni (2005) reforçam essa visão ao pontuarem que a disposição física dos recursos impacta diretamente o desempenho operacional, tornando-se uma vantagem competitiva operacional.

Para Woldemicael *et al.* (2024), empresas que adotam a eficiência operacional como estratégia tornam-se mais competitivas em seus segmentos de atuação. Assim, a melhoria contínua consolida-se como um caminho essencial para garantir a sustentabilidade e o crescimento dos negócios. Estudos de caso, como o de Araújo e Sacomano Neto (2005), demonstram que o redesenho do layout pode gerar ganhos mensuráveis de produtividade e redução de custos, comprovando sua relevância em ambientes industriais.

De acordo com Turute *et al.* (2016), o arranjo físico pode ser compreendido como a forma pela qual os recursos produtivos, pessoas, máquinas e materiais estão dispostos no ambiente fabril. Os tipos de layout mais comuns são o funcional, o celular, por produto e por posição fixa, e a escolha do modelo mais adequado depende das características do processo produtivo de cada empresa. Apesar da reconhecida importância do layout, mudanças no arranjo

físico envolvem custos elevados e demandam análise criteriosa, uma vez que impactam diretamente a eficiência operacional e o aproveitamento dos recursos (Slack *et al.*, 2008).

No setor moveleiro e madeireiro, diversos estudos evidenciam a relevância da aplicação de modelos de planejamento e otimização de layout como ferramenta para a melhoria do desempenho produtivo. Pesquisas desenvolvidas em fábricas de móveis, marcenarias e empresas madeireiras demonstram que a reorganização do arranjo físico, por meio de metodologias como o Planejamento Sistemático e Simplificado de Layout (SLP Simplificado), contribui para a redução de desperdícios, diminuição de custos operacionais e aumento da produtividade. A adequação da disposição de máquinas, materiais e equipamentos, respeitando a sequência lógica do processo produtivo e os princípios ergonômicos, permite reduzir deslocamentos desnecessários, otimizar a movimentação interna e melhorar as condições de trabalho. Ademais, a implementação de layouts mais compactos e de linhas de produção. (Miranda *et al.*, 2019; Fiedler *et al.*, 2009; Pojo *et al.*, 2021).

A escolha do segmento da indústria de compensados de madeira justifica-se pela sua relevância econômica no cenário nacional. De acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2022), o desempenho do setor pode ser observado no expressivo crescimento das exportações. Os painéis de compensado brasileiros passaram de US\$ 276 milhões em 2020 para US\$ 347 milhões em 2021. Além disso, ao comparar os períodos de janeiro a março de 2021 e 2022, verifica-se um aumento aproximado de 53,8% no volume exportado.

Trata-se de um segmento industrial caracterizado por processos produtivos sequenciais e altamente interdependentes, que envolvem etapas como recebimento da madeira, descascamento, secagem, colagem, prensagem, corte, acabamento e armazenamento (Oliveira Filho, 2024). Nesse contexto, o presente estudo torna-se relevante ao analisar o processo produtivo e evidenciar a importância da otimização e organização das operações nesse tipo de indústria.

Segundo Corrêa e Corrêa (2022), um layout eficiente contribui diretamente para o fluxo contínuo de materiais e informações, reduzindo desperdícios, retrabalhos e atrasos no processo. Diante dessa perspectiva, surgiu a seguinte pergunta de pesquisa: como a reorganização do layout pode reduzir desperdícios e melhorar o fluxo produtivo em uma indústria de fabricação de compensados?

Assim, o estudo teve como objetivo (i) identificar os desperdícios presentes na movimentação das empilhadeiras de uma indústria de fabricação de compensados e (ii) propor uma reorganização do espaço físico com base em algumas ferramentas da Engenharia de Produção. Para isso, foram mapeados o layout atual da fábrica e o fluxo de materiais, pessoas

e processos; diagnosticadas falhas e desperdícios relacionados ao arranjo físico; e propor um novo layout fundamentado em dados coletados no ambiente real, utilizando ferramentas como diagrama de espaguete e fluxograma de processo.

Assim, espera-se que este estudo contribua tanto para o campo teórico da Engenharia de Produção, ao reforçar a importância do layout como uma ferramenta estratégica e ao ampliar a discussão sobre estudos de layout em empresas de médio porte do setor de compensados, tema ainda pouco explorado nas pesquisas, quanto para a prática empresarial, ao apresentar propostas fundamentadas em dados e metodologias consolidadas que auxiliem a tomada de decisão voltada à reorganização do espaço físico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MELHORIA CONTÍNUA EM LAYOUTS

A melhoria contínua configura-se como uma abordagem estratégica adotada pelas organizações com o objetivo de promover a melhoria constante de processos, produtos e serviços. De acordo com Womack *et al.* (1992), no período pós-Segunda Guerra Mundial, a indústria japonesa desenvolveu um conjunto de práticas de manufatura que expressava um esforço sistemático e contínuo de aprimoramento das operações, o que resultou significativamente em sua competitividade em nível global. Esse conjunto de práticas deu origem ao conceito de produção enxuta (*lean manufacturing*).

Ainda segundo os autores, a produção enxuta tem como premissa fundamental a identificação e eliminação sistemática de desperdícios ao longo da cadeia produtiva, sendo considerados desperdícios todas as atividades que consomem recursos sem agregar valor ao produto ou serviço final. Assim, os objetivos fundamentais deste sistema são a qualidade e flexibilidade do processo, ampliando sua capacidade de produzir e competir no cenário internacional (Riani, 2006).

Nesse contexto, Shingo (1981) identifica sete tipos de desperdícios que, no Sistema Toyota de Produção, devem ser eliminados por não agregarem valor ao processo. São eles:

- espera, caracterizada pela inatividade de pessoas, materiais ou informações;
- produção em excesso, que gera estoques desnecessários;
- transporte, referente a movimentações dispensáveis;
- processamento em excesso, quando se utilizam métodos mais complexos que o necessário;
- estoques, que representam acúmulo de materiais e produtos;
- movimentação desnecessária de operadores, geralmente causada por layouts ineficientes;
- e defeitos, que exigem retrabalho e comprometem a qualidade final.

No contexto da indústria de compensados, grande parte desses desperdícios se manifesta diretamente na movimentação interna, pois o layout intensifica deslocamentos desnecessários das empilhadeiras, aumenta o tempo de espera entre etapas e eleva o transporte excessivo, evidenciando como a organização do espaço fabril influencia diretamente a ocorrência dos desperdícios descritos por Shingo.

2.2 ARRANJO FÍSICO

O arranjo físico, também conhecido como layout, refere-se à disposição dos recursos produtivos, como máquinas, equipamentos, pessoas e materiais dentro do espaço fabril. De acordo com Turute *et al.* (2016), essa organização influencia diretamente a eficiência dos processos, impactando o tempo de produção, os custos operacionais e a qualidade do produto final.

Segundo Favaretto *et al.* (2011), para garantir um sistema de manufatura mais enxuto e eficiente, um projeto de layout adequado é um dos fatores determinantes para o sucesso da empresa em um mercado competitivo. Layouts elaborados otimizam o fluxo de materiais e pessoas, reduzem movimentos desnecessários e eliminam gargalos.

Como exemplo, Giraldeli *et al.* (2018) demonstraram, em um estudo no setor elétrico, que a reconfiguração do layout fabril proporcionou uma melhor organização e aumento da produtividade de 56% ao minimizar as distâncias de manuseio de materiais. Mas dentro das fábricas podemos encontrar diferentes tipos de layout.

Em vista disso, Oliveira Filho *et al.* (2024), mostra que os principais tipos de layout são:

- **Layout por processo (funcional):** caracteriza-se pela disposição de máquinas e equipamentos semelhantes em setores específicos. É indicado para produção variada, em pequenas quantidades.
- **Layout por produto (linear):** as máquinas são organizadas segundo a sequência de operações necessárias para a fabricação de um único produto. É típico de produções em massa.
- **Layout celular:** combina características dos layouts por processo e por produto. As células de produção agrupam recursos diferentes, porém complementares, responsáveis por partes específicas do processo.
- **Layout posicional:** o produto permanece fixo em um ponto, enquanto os recursos produtivos se deslocam até ele. É comum em produções de grande porte, como aeronaves e navios.

As indústrias de compensados, o layout predominante é o layout por produto (linear), uma vez que o processo produtivo segue uma sequência contínua de etapas, da secagem à prensagem e acabamento o que exige o fluxo progressivo do material ao longo da linha de produção.

2.3 IMPACTOS DE LAYOUTS INEFICIENTES

Layouts fabris ineficientes ou desatualizados impactam diretamente a logística interna, gerando aumento de deslocamentos, retrabalhos, atrasos e desperdícios, o que eleva custos operacionais e reduz a produtividade e a competitividade das organizações (Krajewski et al., 2009). Nesse contexto, o redesenho do layout com base nos princípios da produção enxuta mostra-se uma estratégia eficaz para mitigar esses efeitos, promovendo redução do lead time e maior organização do fluxo produtivo (Gerlach et al., 2017).

Além dos ganhos operacionais, layouts otimizados também influenciam a segurança e o desempenho dos operadores, potencializando resultados de treinamentos e reduzindo riscos no ambiente de trabalho (Kobir et al., 2023). Na indústria de compensados, o arranjo físico assume papel estratégico, uma vez que a disposição de equipamentos, áreas de armazenamento e fluxos de materiais interfere diretamente no tempo de transporte, no ritmo produtivo e na qualidade do produto final, exigindo constante atualização para atender às demandas tecnológicas e de competitividade do setor (Martins & Laugeni, 2005; Alderman & Goodwin, 2023; Oliveira Filho, 2024).

Diante desses impactos, torna-se evidente que a revisão e otimização do layout não apenas reduzem desperdícios e custos operacionais, mas também são fundamentais para garantir maior eficiência, segurança e competitividade, o que justifica plenamente a realização deste estudo.

2.4 DIAGRAMA DE ESPAGUETE

O diagrama de espaguete consiste em uma representação visual do percurso realizado por materiais, produtos ou pessoas dentro de um layout específico, permitindo a identificação e quantificação de desperdícios relacionados à movimentação e ao transporte. Essa ferramenta auxilia na compreensão do fluxo real das operações, na detecção de trajetos desnecessários, cruzamentos de rotas, trajetos desnecessários contribuindo diretamente para o aumento da eficiência produtiva e redução de movimentos (Matos *et al.*; 2023)

De acordo com Pereira (2018), a construção de um diagrama de espaguete inicia-se com o levantamento do layout atual das instalações da planta fabril, identificando elementos como pilares, portas, corredores, estações de trabalho e estoques de materiais. Em seguida, sobre o layout desenhado, traça-se o caminho percorrido por pessoas e produtos, representando graficamente os deslocamentos realizados durante o processo produtivo.






Após essa etapa, o mesmo autor realiza uma análise crítica das movimentações observadas, o que possibilita identificar gargalos, cruzamentos de fluxo, trajetos excessivos e

desperdícios de tempo e esforço. A partir dessa análise, é possível propor melhorias no arranjo físico, buscando otimizar o fluxo operacional, reduzir movimentações desnecessárias e, conseqüentemente, aumentar a produtividade e a segurança dos colaboradores.

2.5 FLUXOGRAMA DE PROCESSO

Os fluxogramas representam graficamente a seqüência de etapas de um processo produtivo por meio de símbolos gráficos, a seqüência das etapas da operação da empresa, facilitando sua análise (Oliveira; Silva, 2020). Os símbolos utilizados nos fluxogramas podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Simbologia para fluxograma de processo.

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
	Operação: ocorre quando se modifica intencionalmente um objeto em qualquer de suas características físicas ou químicas, ou também quando se monta ou desmonta componentes ou partes.
	Transporte: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é transferido de um lugar para outro, de uma seção para outra, de uma unidade para outra.
	Espera ou demora: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é colocado intencionalmente numa posição estática. O material permanece aguardando processamento ou encaminhamento.
	Inspeção: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é examinado para sua identificação, quantidade ou condição de qualidade.
	Armazenagem: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é mantido em área protegida específica na forma de estoque.

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007).

Como mostra Vieira (2020), o fluxograma de processo e o diagrama de espaguete são ferramentas capazes de auxiliar as empresas na identificação de desperdícios e analisar o processo, independentemente do porte ou do tipo de atividade. Isso porque permite visualizar todos os atores envolvidos, as atividades realizadas e as movimentações durante o processo, possibilitando a identificação de gargalos e desperdícios. O fluxograma auxiliou compreender o processo do estudo e fazer as medições para a análise do deslocamento das empilhadeiras.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

A organização estudada atua no setor de manufatura, com foco na produção de lâminas e compensados. Possui duas unidades produtivas: uma destinada ao processamento de lâminas

e outra voltada à fabricação de compensados. Ambas estão localizadas no município de Porto União, no estado de Santa Catarina, que tem aproximadamente 32.970 habitantes e uma área territorial de 848,779 km² (IBGE, 2024). Trata-se de uma empresa de caráter familiar, administrada por uma mulher, cuja liderança é central em todas as decisões estratégicas e operacionais.

A estrutura física da organização é dividida em duas unidades que são integradas logisticamente. A Unidade 2 concentra as atividades de recebimento de toras e processamento de lâminas, além de abrigar as máquinas de laminação, o setor administrativo, a diretoria e o refeitório dos colaboradores. Já a Unidade 1 é responsável pela fabricação dos compensados e dispõe de área de produção, laboratório de controle de qualidade, sala dos encarregados e oficina de manutenção, onde se encontra o maior número de processos para a fabricação dos compensados. O quadro funcional da organização é composto por profissionais de diversas áreas, incluindo engenheiros, técnicos, operadores e colaboradores administrativos, totalizando aproximadamente 170 funcionários distribuídos entre as duas unidades.

A disposição física da empresa busca integrar os setores administrativo e operacional, promovendo a comunicação e o alinhamento entre as áreas. O público atendido é diversificado, abrangendo tanto o mercado regional, que representa a maioria dos clientes quanto o mercado internacional, atendendo consumidores finais e empresas do setor madeireiro. A empresa se destaca por oferecer serviços especializados na fabricação de lâminas e compensados, com processos produtivos que permitem a personalização conforme as necessidades específicas de cada cliente. Os produtos são desenvolvidos em diferentes tamanhos, cores e espessuras, sempre em conformidade com as normas e padrões de qualidade vigentes, onde há a necessidade de um fluxo produtivo eficiente.

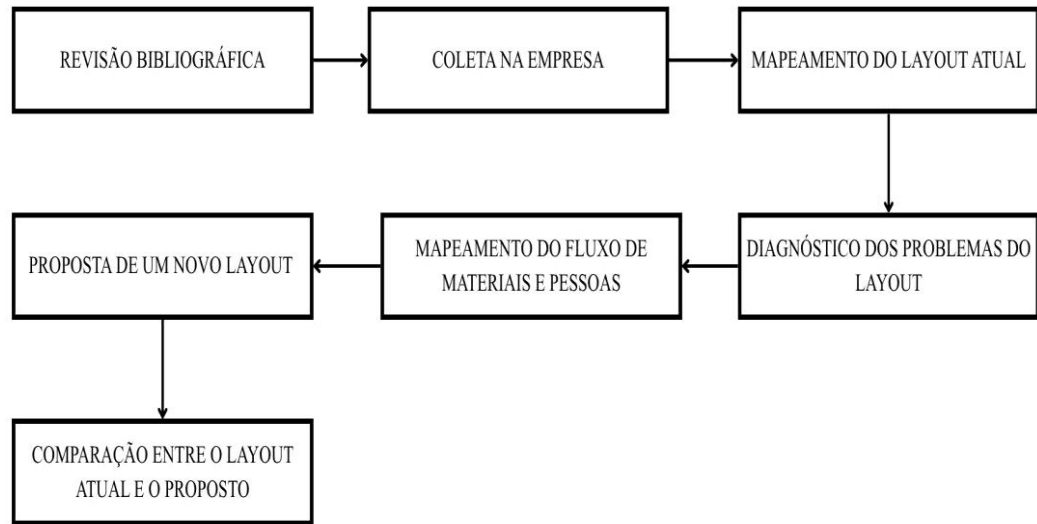
3.2 ETAPAS DA METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quali-quantitativa, com caráter exploratório e descritivo, realizada em ambiente real. A escolha por essa abordagem se justifica pela necessidade de compreender, mapear e propor melhorias em um processo produtivo existente, com base na observação direta e na análise de dados concretos. Segundo Ensslin e Vianna (2008), a combinação entre métodos qualitativos e quantitativos permite uma compreensão mais ampla da realidade, considerando não apenas dados objetivos, mas também as percepções dos colaboradores envolvidos nas atividades.

Assim a pesquisa foi estruturada em seis etapas: revisão bibliográfica, mapeamento do layout atual, mapeamento do fluxo de materiais e pessoas, diagnóstico dos problemas do layout,

proposição de um novo layout e comparação entre o layout atual e o proposto como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Etapas desenvolvidas na metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora.

A primeira etapa consistiu no levantamento do referencial teórico, por meio da busca e análise de livros e artigos científicos que abordam propostas de melhoria de layout industrial em empresas de diferentes portes, bem como estudos sobre diagrama de espaguete e fluxogramas. Essa etapa do estudo, buscou identificar práticas consolidadas na área e subsidiar a definição dos métodos e ferramentas utilizadas. A pesquisa bibliográfica foi conduzida no Google Acadêmico, utilizando as palavras-chave layout, fábrica de compensados e melhoria. Inicialmente, foram identificados 2.030 documentos. Após a aplicação da filtragem exclusiva para livros e artigos científicos, obteve-se um total de 425 resultados. Em seguida, realizou-se a leitura dos resumos, onde foram analisados documentos que abordavam melhorias do layout e ferramentas utilizadas no estudo, o que permitiu selecionar 23 documentos-base para a construção do referencial teórico.

Com o referencial foi realizado a base de dados para iniciar a segunda etapa, composta pela coleta de dados na empresa, que foram realizadas nos 2 meses, onde a autora foi a campo acompanhar todo o processo realizado pela empresa e assim, foi realizado o mapeamento do layout atual, por meio de observação direta, análise da planta e elaboração do fluxograma do processo, com o objetivo de representar as atividades realizadas em cada setor. Essa abordagem permitiu uma visualização precisa da organização dos espaços produtivos, contribuindo para identificar as etapas do processo, os gargalos existentes e as oportunidades de melhoria no arranjo físico, visando maior eficiência operacional e redução de desperdícios.

Com base nessa análise preliminar, desenvolveu-se a terceira etapa, referente ao

mapeamento do fluxo de materiais e pessoas. Para isso, utilizou-se o diagrama de espaguete, onde foi desenvolvido a observação de todos os caminhos que cada empilhadeira realizava durante os ciclos e juntamente foi feito as medições através da Bosch Trena a Laser GLM 40, registrando todas as distâncias na planilha Excel para o estudo. Essa ferramenta possibilitou identificar movimentos excessivos, fluxos ineficientes e potenciais desperdícios dentro da empresa. Assim, a quarta etapa correspondeu ao diagnóstico dos principais problemas do arranjo físico, com identificação de gargalos, desperdícios e ineficiências resultantes do layout atual.

A partir das informações levantadas, a quinta etapa envolveu a proposição de um novo layout, fundamentada nas análises realizadas e nos princípios da melhoria contínua. A proposta considerou o alinhamento dos setores conforme os fluxos de materiais, a proximidade ideal entre áreas e a redução dos deslocamentos internos. Nessa etapa, o layout final foi ajustado à planta baixa da empresa, respeitando suas limitações estruturais e buscando o melhor aproveitamento do espaço disponível.

Por fim, a sexta etapa compreendeu a comparação entre o layout atual e o proposto, utilizando indicadores como distâncias percorridas e aproveitamento do espaço físico. Os resultados foram analisados criticamente, com o objetivo de apresentar sugestões que contribuam para a melhoria da produtividade, a eliminação de desperdícios e a otimização do uso do espaço físico na organização estudada.






















































































4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPEAMENTO DE LAYOUT ATUAL

Durante a coleta de dados em campo, foi possível observar todo processo produtivo da fabricação de compensados, elaborar o fluxograma produtivo, apresentado no Quadro 1, contemplando as duas unidades da empresa e a média das distâncias do processo, pois as empilhadeiras não tem uma movimentação padrão, elas abastecem as máquinas que estão ociosas, assim utilizamos a média da movimentação por ciclo.

Quadro 1 – Fluxograma do processo dos compensados

FLUXOGRAMA DO PROCESSO GERAL							
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	RESPONSÁVEL	DISTÂNCIA (Média)	PROCESSO				
			Operação	Inspeção	Transporte	Espera	Armazenagem
Recebimento das toras de madeira na Unidade 2	Operador do pátio	-	●	□	→	⏸	▽

Armazenagem das toras no pátio da Unidade 2	Operador do pátio	-					
Descascamento e preparo das toras	Operador da descascadora	-					
Fabricação das lâminas (desenrolamento/laminação)	Operador de laminadora	-					
Transporte das lâminas da Unidade 2 para a Unidade 1	Motorista	450 m					
Recebimento das lâminas na Unidade 1	Encarregado do barracão	-					
Descarregamento das lâminas	Operador do caminhão	-					
Armazenagem das lâminas	Encarregado do barracão	-					
Transporte das lâminas até os secadores	Operador de empilhadeira 1	53,28 m					
Secagem das lâminas	Operador do secador	-					
Transporte das lâminas secas até o estoque	Operador de empilhadeira 1	100,71 m					
Transporte das lâminas até as passadeiras de cola	Operador de empilhadeira 2	52,18 m					
Transporte das chapas até as passadeiras de cola	Operador de empilhadeira 2	57,43 m					
Montagem e colagem das lâminas e chapas	Operador da passadeira de cola	-					
Transporte das lâminas coladas até a pré-prensa	Operador de empilhadeira 2	13,79 m					
Pré-prensagem	Operador da pré-prensa	-					
Espera da pré-prensagem	Operador da pré-prensa	-					
Transporte das lâminas pré-prensadas até a prensa	Operador de empilhadeira 2	25,61 m					

Prensagem com a lâmina de plástico	Operador da prensa	-	●	□	→	◐	▽
Espera da prensagem	Operador da prensa	-	○	□	→	◐	▽
Transporte dos compensados até a esquadrejadeira	Operador de empilhadeira 3	25,53 m	○	□	→	◐	▽
Esquadrejamento	Operador da esquadrejadeira	-	●	□	→	◐	▽
Encaminhamento para a área de acabamento	Operador de empilhadeira 3	25,58 m	○	□	→	◐	▽
Verificação dos compensados	Operador de acabamento	-	○	■	→	◐	▽
Reparos dos compensados	Operador de acabamento	-	●	□	→	◐	▽
Aplicação de massa	Operador de acabamento	-	●	□	→	◐	▽
Amarração	Operador de acabamento	-	●	□	→	◐	▽
Pintura	Operador de acabamento	-	●	□	→	◐	▽
Separação do lote	Operador de acabamento	-	○	■	→	◐	▽
Etiquetagem	Operador de acabamento	-	●	□	→	◐	▽
Transporte do produto acabado até o estoque	Operador de empilhadeira 3	20 m	○	□	→	◐	▽
Armazenagem no estoque	Encarregado do barracão	-	○	□	→	◐	▼
TOTAL:	-	824,115 m	14	2	10	2	3

Fonte: Elaborado pela autora.

O processo produtivo é composto por 31 etapas no total, que incluem operações diretas, transportes, recebimentos e armazenagens. Na Unidade 2, ocorre o início do fluxo com o recebimento das toras de madeira, seguido da armazenagem no pátio, do descascamento e preparo das toras e da fabricação das lâminas por desenrolamento/laminação. Após isso, é realizado o transporte das lâminas da Unidade 2 para a Unidade 1, utilizando caminhão,

caracterizando três operações, uma de armazenamento e uma de transporte no fluxo.

Na Unidade 1, concentram-se as demais etapas do processo. Primeiramente ocorre o recebimento, descarregamento e armazenagem das lâminas. Em seguida, elas passam por uma sequência de operações: transporte, por meio de empilhadeiras, até os secadores, secagem, transporte até as passadeiras de cola, montagem e colagem, transporte até a pré-prensa, pré-prensagem, transporte até a prensa, prensagem e transporte até a esquadrejadeira. Depois disso, acontecem o esquadrejamento e o encaminhamento para a área de acabamento, onde são feitos os reparos, aplicação de massa, amarração, pintura, separação do lote e etiquetagem. Por fim, o produto acabado é transportado até o estoque e realizado o armazenamento final. Nesta unidade, o processo conta com onze operações diretas, além de nove transportes internos e duas atividades de espera, armazenagem e inspeção.

No Quadro 2 que há diversas atividades dentro das unidades que não agregam valor, atividades observadas durante a coleta que não estão relacionadas diretamente com as operações, ao produto. Entre elas, a movimentação se destaca como a principal atividade que não gera valor, seguida pelo armazenamento, inspeção e períodos de espera. Essas etapas contribuem para o aumento do tempo de processamento e dos custos operacionais, sem melhorar efetivamente o produto final.

Quadro 2 – Atividades que agregam e não agregam valor

	Agrega valor	Não agrega valor	Distância (m)
Unidade 1	42,31%	57,69%	374,115
Unidade 2	60%	40%	450

Fonte: Elaborado pela autora.

Com isso, o foco do estudo foi direcionado à Unidade 1, por concentrar a maior parte do processo de produção dos compensados e apresentar a maior porcentagem de atividades que não agregam valor. Apesar de as distâncias percorridas na Unidade 1 serem maiores, devido ao espaçamento entre as unidades não há movimentação interna relevante.

Nesse sentido, foi realizado o levantamento dos principais equipamentos da Unidade 1, possibilitando a atualização do layout fabril de acordo com a realidade do chão de fábrica, destacando três secadores, três máquinas de pré-prensagem, quatro passadores de cola, um misturador, seis prensas em operação, além de um esquadrejador e a área de acabamento com capacidade para até sete pilhas de compensados.

4.2 MAPEAMENTO DO FLUXO DE MATERIAIS E PESSOAS ATUAL

A partir do levantamento do fluxograma do processo produtivo, foi possível organizar

de forma sistemática as etapas de produção da empresa, permitindo identificar a sequência lógica das operações, fornecendo uma visão clara do encadeamento das atividades.

Em seguida, a análise do layout possibilitou mapear a disposição física dos setores, máquinas e equipamentos, destacando os elementos relevantes para a compreensão do processo produtivo. O mapeamento de fluxo foi fundamental para relacionar a estrutura física com o fluxo das operações, permitindo identificar possíveis pontos de melhoria na organização espacial da fábrica.

Com essas informações, foi elaborado o diagrama de espaguete, que evidenciou os percursos realizados durante a movimentação de materiais e colaboradores ao longo do processo produtivo. Esse mapeamento possibilitou visualizar de forma detalhada os deslocamentos, tornando mais perceptíveis os trajetos excessivos, cruzamentos de fluxos e desperdícios associados à movimentação. Dessa forma, o resultado obtido constitui uma base sólida para a identificação de desperdícios produtivos e para a proposição de melhorias voltadas à eficiência operacional, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de espaguete dos movimentos das empilhadeiras



Fonte: Elaborado pela autora.

Durante as observações, foi possível analisar que os operadores permanecem em seus respectivos postos durante a operação das máquinas, enquanto as empilhadeiras representam o principal meio de movimentação interna da fábrica, essa movimentação é realizada pelas três empilhadeiras ao longo do processo produtivo. Podem ser observadas na Figura 4 as empilhadeiras Clark a combustão GTS, o consumo para a versão GLP (gás liquefeito de petróleo) é de 2,5 kg/hora e para a versão Diesel 1,7 litro/hora, usadas na empresa.

Figura 4 – Empilhadeiras da empresa



Fonte: Elaborado pela autora.

A empilhadeira 1 é responsável por movimentar as lâminas oriundas da unidade 2, levando-as ao setor de secagem. Após o processo nos secadores, as lâminas secas retornam ao estoque para posterior utilização. Além disso, próximo às prensas existe um pequeno estoque intermediário de lâminas, utilizado para facilitar o abastecimento contínuo. A movimentação de abastecimento foi representada no diagrama de espaguete pela linha em marrom, evidenciando os trajetos recorrentes nessa etapa.

A empilhadeira 2 é responsável pelo transporte das lâminas secas até o passador de cola. Após a colagem, o operador conduz a pilha de lâminas coladas em chapas até a pré-prensa, na qual permanecem por aproximadamente oito minutos. Em seguida, as chapas são direcionadas para a prensa principal, etapa em que são transformadas em compensados.

Por fim, a empilhadeira 3 realiza o transporte dos compensados oriundos das prensas 1 e 2 até a esquadrejadeira. No caso das prensas 3 e 4, os compensados seguem pelos rolamentos até um ponto de coleta, de onde são recolhidos pela empilhadeira. Após essa etapa, parte da produção segue automaticamente para a área de acabamento por meio dos rolamentos, enquanto outra parte é transportada pela empilhadeira, que também realiza a movimentação dos lotes finalizados para o estoque de chapas acabadas.

Assim, foi realizada a mensuração das distâncias entre as etapas do processo produtivo utilizando o equipamento Bosch Trena a Laser GLM 40, reconhecido por sua precisão em medições lineares. Durante o procedimento, foram registradas nas planilhas as distâncias percorridas pelas empilhadeiras, com o objetivo de analisar o fluxo interno de movimentação de materiais e identificar possíveis oportunidades de otimização logística, assim desenvolvido na seção 4.4.

Durante essa coleta, foi notório também o impacto ergonômico e de segurança presente nos percursos, uma vez que foram identificados diversos pontos de cruzamento no layout fabril, principalmente nas áreas de armazenagem das laminas e compensados, que aumentam o risco de colisões e acidentes. Além disso, esses trajetos exigem atenção constante dos operadores de

empilhadeira, podendo gerar sobrecarga física e mental devido ao estado permanente de alerta.

4.3 DIAGNÓSTICO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS

Durante a análise do fluxo produtivo, identificou-se que cada empilhadeira desempenha funções específicas, conforme descrito no tópico 4.3. Esse levantamento permitiu compreender o fluxo interno de materiais, identificar gargalos logísticos e subsidiar propostas de otimização do layout industrial. O Quadro 3 apresenta as distâncias percorridas pela Empilhadeira 1, responsável pelo transporte das lâminas entre a área de produção, os secadores e o estoque.

Quadro 3 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 1 no transporte das lâminas

EMPILHADEIRA 1	
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Transporte das lâminas até o secador 1	44,50
Transporte das lâminas até o estoque secundário	87,20
Transporte das lâminas até o secador 2	18,22
Transporte das lâminas até o secador 3	63,22
Transporte das lâminas secas do secador 1 até o estoque	17,44
Transporte das lâminas secas do secador 2 até o estoque	133,00
Transporte das lâminas secas do secador 3 até o estoque	151,70
Total:	515,28

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Observa-se que esse equipamento percorre um total de 515,28 metros por ciclo completo. Entre os trajetos realizados, destacam-se os deslocamentos destinados ao abastecimento dos secadores 1, 2 e 3, além do transporte das lâminas secas desses equipamentos até o estoque. Notou-se que algumas distâncias são significativamente superiores, como no caso do transporte das lâminas secas do secador 3 (151,70 m) e do secador 2 (133,00 m), devido à maior distância física entre esses secadores e o estoque. Essa condição indica a necessidade de avaliar a disposição dos setores, de modo a reduzir percursos desnecessários e, conseqüentemente, o tempo total de movimentação.

O Quadro 4 apresenta as distâncias percorridas pela Empilhadeira 2, responsável pelo abastecimento das passadeiras de cola e pelo transporte das chapas até as pré-prensas e prensas. Esse equipamento percorre um total de 639,31 metros, valor superior ao observado para a Empilhadeira 1.

Quadro 4 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 2 no transporte das lâminas

EMPILHADEIRA 2	
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 1	36,48

Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 2	45,93
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 3	61,95
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 4	64,34
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 1	49,32
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 2	58,77
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 3	52,28
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 4	69,34
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 1	3,00
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 1	12,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 1	12,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 2	18,96
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 2	9,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 2	12,91
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 3	22,33
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 3	12,91
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 3	19,38
Transporte das chapas pré-prensadas da pré-prensa 1 para a prensa 3	21,00
Transporte das chapas pré-prensadas da pré-prensa 1 para a prensa 4	25,58
Transporte das chapas pré-prensadas da pré-prensa 1 para a prensa 5	30,24
Total:	639,31

Fonte: Elaborado pela autora.

Isso ocorre devido à maior quantidade de pontos de abastecimento e da necessidade de deslocamentos frequentes entre diferentes máquinas. As variações nas distâncias percorridas demonstram que a configuração atual do layout pode estar contribuindo para um aumento no tempo de operação e no desgaste operacional do equipamento.

O Quadro 5 apresenta as distâncias percorridas pela Empilhadeira 3, destinada ao transporte dos compensados após o processo de prensagem. Esse equipamento realiza trajetos entre as prensas, a esquadrejadeira, o setor de acabamento e o estoque final, totalizando 147,69 metros percorridos por ciclo, mas a empilhadeira trabalha também no auxílio dos carregamentos.

Quadro 5 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 3 no transporte das lâminas

EMPILHADEIRA 3	
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Transporte dos compensados da prensa 5 para a esquadrejadeira	44,21
Transporte dos compensados da prensa 4 para a esquadrejadeira	27,45
Transporte dos compensados da prensa 3 para a esquadrejadeira	22,85

Transporte dos compensados da prensa 1 e 2 para a esquadrejadeira no final dos rolamentos	7,60
Transporte dos compensados de esquadrejadeira para o acabamento	25,58
Transporte do acabamento para o estoque	20,00
Total:	147,69

Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar de apresentar o menor percurso entre as três empilhadeiras analisadas, suas atividades concentram-se nas etapas finais do processo produtivo. De forma geral, os dados levantados demonstram que todas as empilhadeiras realizam grandes deslocamentos ao longo do processo, evidenciando um fluxo interno extenso. Observa-se, especialmente nas empilhadeiras 1 e 2, um volume elevado de movimentações que poderiam ser reduzidas, revelando etapas de transporte frequentemente desnecessárias e, por vezes, ineficientes.

As distâncias elevadas contribuem para o aumento do tempo de ciclo, da ociosidade das máquinas dependentes e do consumo da empilhadeira. Assim, torna-se indispensável revisar o layout atual da planta, com vistas à reorganização espacial que permita a redução dos deslocamentos, a melhoria do fluxo de materiais e o aumento da eficiência operacional.

A partir dos dados apresentados, observa-se que as empilhadeiras 1 e 2 são as que mais precisam de um foco para minimizar a sua distância. Nota-se, ainda, que as menores distâncias estão relacionadas ao secador 1, localizado próximo ao estoque, enquanto os maiores percursos estão associados aos secadores 2 e 3, que se encontram mais afastados. Essa variação nos trajetos evidencia um desperdício de movimentação interna, que pode comprometer a produtividade e aumentar os custos operacionais.

Outro problema identificado é a falta de sinalização adequada e de vias exclusivas para a circulação das empilhadeiras. Essa ausência de delimitação no espaço fabril exige maior atenção por parte dos operadores durante a execução das atividades, aumentando o risco de acidentes de trabalho e possíveis interferências entre o fluxo de máquinas e pessoas. Tal condição compromete não apenas a segurança dos colaboradores, mas também a fluidez do processo produtivo.

4.4 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO LAYOUT

As propostas 1 e 2 estão relacionadas à empilhadeira 1, pois apresentam soluções que minimizem as distâncias entre os estoques e os secadores. Já a proposta 3 refere-se à empilhadeira 2, ao sugerir a implementação de equipamentos para reduzir as distâncias percorridas. Por fim, a proposta 4 complementa as anteriores ao tratar da sinalização adequada para a circulação das empilhadeiras.

4.4.1 Proposta 1

A primeira proposta analisada consistiu na realocação dos secadores para a área de estoque, com o objetivo de reduzir a distância percorrida pelas lâminas até os secadores. A expectativa era diminuir o tempo de transporte interno, como observado na Figura 5, na área vermelha.

Figura 5 – Layout da proposta 1



Fonte: Elaborado pela autora.

Com essa realocação, a distância atualmente percorrida pela empilhadeira 1 até os secadores 2 e 3 será reduzida de forma significativa, pois a distância atual é de 515,28 e será reduzida para 237,10, uma redução de 54%, conforme pode ser observado no Quadro 6. Essa diminuição no deslocamento contribui diretamente para a redução do tempo de ciclo, melhora a eficiência operacional e minimiza o desgaste do equipamento, além de diminuir o consumo de combustíveis.

Quadro 6 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 1 da proposta 1

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Lâminas para o secador 1	44,50
Lâminas para o secador 2	40,00
Lâminas para o secador 3	77,34
Lâminas secas 1 até o estoque	17,44
Lâminas secas 3 até o estoque	19,56
Lâminas secas 2 até o estoque	38,26
Total:	237,10

Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, essa alternativa apresenta baixa viabilidade atualmente para a empresa. Pois apontaram que teria um possível investimento em relação ao custo de deslocamento dos próprios secadores, além das adaptações necessárias na infraestrutura elétrica e estrutural para garantir seu correto funcionamento no novo local. Dessa forma, apesar dos potenciais

benefícios logísticos, do melhor fluxo de produção, os impactos financeiros e estruturais tornam a implementação dessa proposta inviável no contexto atual da empresa. Assim, foi elaborada a Proposta 2, que envolve a empilhadeira 1.

4.4.2 Proposta 2

Para a segunda proposta, foi estruturado um layout que aproveita uma área que não estava sendo utilizada, conforme mostra a Figura 6, destinando-a à criação de um segundo estoque responsável por abastecer os secadores. Essa modificação tem como objetivo reduzir o tempo e a distância de transporte das lâminas entre o estoque principal e os secadores, otimizando o fluxo de materiais dentro do setor produtivo. Como o secador 1 possui esteiras rolantes, a empilhadeira consegue abastecer o secador 1 e trabalhar somente no abastecimento do secador 2 e 3 durante o turno.

Figura 6 – Local para estoque secundário



Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, a proposta contribui para uma melhor organização do espaço físico, ao minimizar movimentações desnecessárias entre os secadores 2 e 3 e permitir um controle mais ágil dos materiais, pois estão mais próximos dos equipamentos. Conforme apresentado na Figura 7, a área destacada em vermelho representa o estoque secundário, localizado próximo aos secadores 2 e 3, o que resulta em uma redução expressiva das distâncias percorridas. Essa área também oferece a possibilidade de abastecimento direto pelo caminhão proveniente da Unidade 2, otimizando ainda mais o fluxo de materiais e reduz-se significativamente a necessidade de deslocamentos das empilhadeiras.

Figura 7 – Layout da proposta 2



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, foi possível observar no Quadro 7 as distâncias que serão percorridas pela empilhadeira com a implementação do estoque secundário. Com essa mudança, o total percorrido pela empilhadeira em seu ciclo será de 287,72 metros, assim tendo uma redução de 44,16%.

Quadro 7 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 1 da proposta 2

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Transporte das lâminas até o secador 1	44,50
Transporte das lâminas do estoque secundário até o secador 2	18,22
Transporte das lâminas do estoque secundário até o secador 3	55,56
Transporte das lâminas secas do secador 1 até o estoque	17,44
Transporte das lâminas secas do secador 2 até o estoque perto dos secadores	63,22
Transporte das lâminas secas do secador 3 até o estoque perto dos secadores	88,78
Total:	287,72

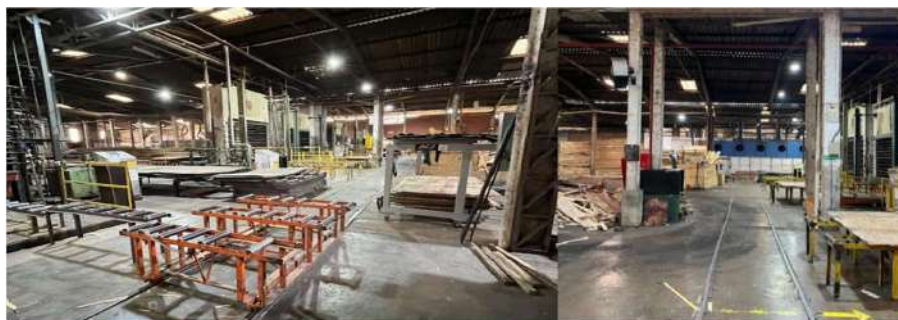
Fonte: Elaborado pela autora.

Na situação atual da empresa, essa seria a proposta com possível menor custo e implementação mais rápida, uma vez que o espaço já está disponível e seria necessário apenas realizar uma reorganização no fluxo dos caminhões para o abastecimento do estoque secundário.

4.4.3 Proposta 3

Uma alternativa de melhoria para reduzir as distâncias percorridas pela empilhadeira 2 é a implementação de um sistema de esteira rolante no trecho entre as pré-prensas e as prensas, equipamento que já é utilizado pela empresa em outras etapas do processo, ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de esteira usada pela empresa



Fonte: Registrado pela autora.

Atualmente, essa parte do fluxo exige deslocamentos constantes e de curta distância, representando aproximadamente 76,82 metros do total percorrido por ciclo. Com a proposta, essas distâncias serão significativamente reduzidas 12,02%, conforme demonstrado no Quadro 8.

Quadro 8 – Distâncias percorridas pela empilhadeira 2 no transporte das lâminas

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	DISTÂNCIA (m)
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 1	36,48
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 2	45,93
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 3	61,95
Transporte das lâminas secas do estoque até a passadora de cola 4	64,34
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 1	49,32
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 2	58,77
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 3	52,28
Transporte das chapas secas do estoque até a passadora de cola 4	69,34
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 1	3,00
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 1	12,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 1	12,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 2	18,96
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 2	9,53
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 2	12,91
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 1 para a pré-prensa 3	22,33
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 2 para a pré-prensa 3	12,91
Transporte das chapas e lâminas coladas na passadora de cola 3 para a pré-prensa 3	19,38
Total:	562,49

Fonte: Elaborado pela autora.

A instalação da esteira permite criar um fluxo contínuo do material colado, eliminando a necessidade da empilhadeira nessa etapa do processo. Essa solução reduz significativamente o tempo de movimentação, diminui o desgaste operacional do equipamento e aumenta a eficiência global da linha produtiva.

4.4.4 Proposta 4

Para solucionar o problema identificado sobre a sinalização, a proposta 4 recomenda a implementação de sinalização horizontal no piso, delimitando faixas exclusivas para a circulação das empilhadeiras ao longo do layout fabril. Essa sinalização permite separar visualmente o fluxo de máquinas e pedestres, reduzindo interferências e aumentando a previsibilidade dos trajetos.

Além disso, sugere-se a instalação de espelhos convexos de cruzamento nos pontos de baixa visibilidade ou convergência de fluxos. Esses dispositivos ampliam o campo de visão dos operadores, auxiliando na detecção antecipada de obstáculos e diminuindo significativamente o risco de colisões. A Figura 9 mostra exemplo retirado da internet.

Figura 9 – Exemplo da sinalização horizontal



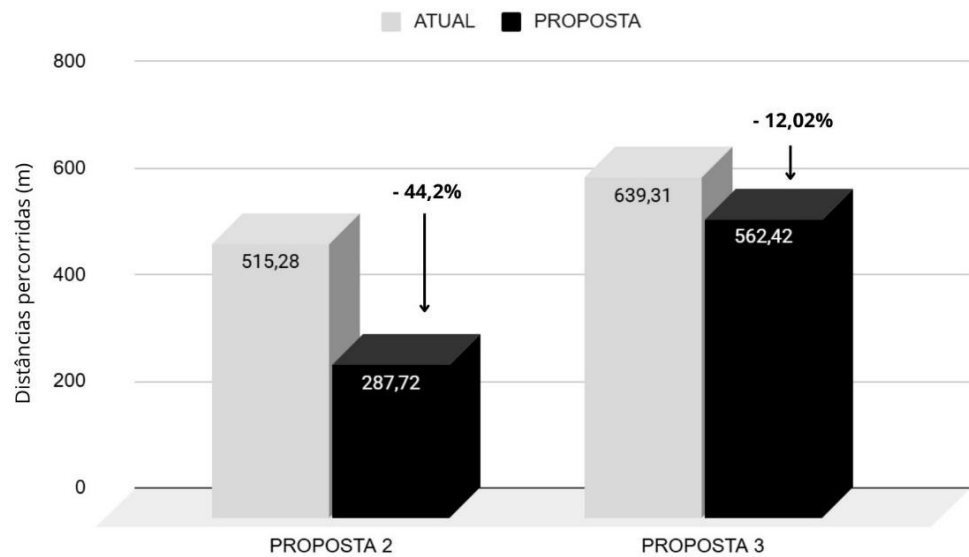
Fonte: Bump (2024)

Analisando a combinação dessas medidas possa melhorar tanto a segurança dos colaboradores quanto a fluidez operacional, pois reduz a necessidade de paradas bruscas, manobras corretivas e atenção excessiva durante a condução. Assim, reforça-se um ambiente mais organizado, seguro e eficiente, alinhado às boas práticas de gestão de movimentação interna.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS DISTÂNCIAS

A Figura 10 apresenta a comparação das distâncias percorridas para o transporte das lâminas em cada uma das situações analisadas: o cenário atual e as propostas 2 e 3, que estão relacionadas à empilhadeira 1 e 2. No layout atual da proposta 2, a distância total percorrida é a maior, sendo 515,28 metros para o transporte das lâminas até os secadores e estoque, e a proposta é de 287,72 metros para o deslocamento. Já na proposta 3, a distância total será reduzida de 639,31 para 562,42 metros com a implementação.

Figura 10 – Comparação das propostas



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, podemos analisar que a proposta 2 reduziu a distância percorrida em 44,2%, exigindo um menor investimento e permitindo rápida execução, aproveitando uma área ociosa existente para a criação de um estoque secundário e utilizando o estoque de lâmina secas mais próximas dos secadores, fazendo o fluxo ficar mais linear. Dessa forma, essa proposta se mostra a mais viável, possibilitando um possível equilibrando redução de movimentação e custo operacional.

Já a proposta 3 reduziu a distância percorrida em aproximadamente 12,02%, considerando a diminuição de 639,31 metros para 562,49 metros. Essa melhoria demanda o uso de esteiras de rolamento, de modo geral, indicam a possibilidade de um investimento viável, uma vez que a empresa já utiliza esse sistema em outros trechos do processo, facilitando sua integração e reduzindo custos de implementação.

Com isso podemos analisar as atividades que agregam e não agregam valor, e houve uma redução das atividades que não agregam valor após a aplicação das propostas de melhoria. No cenário atual, a Unidade 2 apresenta 60% de atividades que agregam valor e 40% que não agregam valor, percorrendo um total de 450 metros. Já a Unidade 1 possui 42,31% de atividades que agregam valor e 57,69% que não agregam valor, com uma distância total de 374,115 metros.

Após a elaboração da proposta, observa-se que a Unidade 1 apresentou melhora significativa, passando para 44% de atividades que agregam valor e 56% que não agregam valor, além de reduzir a distância percorrida para 290,42 metros. Esses resultados demonstram que a proposta foi eficaz na diminuição das atividades que não agregam valor e na otimização dos deslocamentos, especialmente na Unidade 1, onde ocorreu o maior avanço.

Percebeu-se que a melhoria proposta foi significativa para o processo produtivo, pois os valores apresentados representam as distâncias percorridas em apenas um ciclo de atividade das empilhadeiras. Considerando que, em cada turno, essas operações são realizadas em média 20 vezes por empilhadeira, a redução obtida torna-se ainda mais expressiva, aproximadamente uma redução de 1673,9 metros por turno. Dessa forma, observa-se uma diminuição substancial na distância total percorrida diariamente, o que resulta em menor tempo de deslocamento.

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu analisar de forma detalhada o processo produtivo de uma indústria de compensados, com foco na identificação de desperdícios e na proposição de novos layouts e avaliação de impactos. A aplicação de ferramentas como fluxograma de processo, diagrama de espaguete e levantamento de distâncias possibilitou compreender com precisão a dinâmica da movimentação interna e seus impactos.

O mapeamento evidenciou que parte dos deslocamentos realizados pelas empilhadeiras, especialmente as de número 1 e 2, correspondiam a atividades que não agregam valor ao produto, representando desperdícios associados ao transporte excessivo e à movimentação desnecessária. As análises demonstraram também que a distribuição atual dos secadores, estoques e passadeiras de cola contribui para trajetos longos e repetitivos, afetando a produtividade e aumentando o desgaste dos equipamentos.

Com base nesses diagnósticos, foram desenvolvidas propostas estruturadas de melhoria, contemplando um novo estoque secundário, a instalação de esteiras rolantes e a implementação de sinalização horizontal e espelhos convexos para aumentar a segurança e a fluidez das movimentações. Entre as alternativas avaliadas, a proposta 2 mostrou-se a mais viável em termos operacionais, reduzindo a distância percorrida pela empilhadeira 1 em 44,2% e exigindo apenas reorganização do espaço disponível, sem necessidade de investimentos elevados. A proposta 3, que envolve a empilhadeira 2, mostra a redução de 12,02%.

Por fim, o estudo contribui tanto academicamente, ao demonstrar a aplicação prática de ferramentas clássicas da Engenharia de Produção, quanto para a empresa analisada, oferecendo um conjunto de propostas com potencial para melhorar substancialmente o fluxo produtivo. Recomenda-se que a organização avalie a implementação gradual das propostas apresentadas e prossiga com monitoramentos contínuos para garantir que o processo produtivo permaneça alinhado aos princípios da melhoria contínua.

Como limitações desta pesquisa, destaca-se que a análise foi restrita a um período específico de coleta de dados e turno, sendo analisado somente no turno da manhã e tarde, não

abrangendo o turno da noite, o que pode não representar integralmente as variações operacionais ao longo do tempo. Além disso, os resultados obtidos baseiam-se em medições e observações realizadas no ambiente produtivo estudado, estando sujeitos a interferências operacionais e a simplificações necessárias ao modelo adotado. Ressalta-se ainda que a avaliação concentrou-se nos aspectos físicos e logísticos do layout, não contemplando de forma aprofundada análises econômicas, ergonômicas ou de segurança, as quais podem influenciar o desempenho global do sistema produtivo.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a realização de uma análise mais aprofundada dos impactos econômicos das melhorias propostas, por meio de um estudo de viabilidade que considere os custos de implementação, a economia de combustível e a redução do tempo de ciclo. Estudos complementares podem incluir a avaliação dos impactos ergonômicos e das condições de segurança dos operadores. Além disso, recomenda-se a realização de simulações de diferentes cenários e a análise da viabilidade da automação no processo produtivo, visando ampliar os ganhos de eficiência e desempenho operacional.

REFERÊNCIAS

- Alderman, J., & Goodwin, G. (2023). *The global wood products market: Trends and insights*. *Journal of Forest Products and Industries*, 15(2), 45–59
- Araújo, J. C. S., & Sacomano Neto, M. (2005). Redesenho de layout como instrumento para melhoria da produtividade: Estudo de caso em uma indústria de alimentos. *Revista Produção Online*, 5(3), 1–20. <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/190>
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2006). *Administração da produção para a vantagem competitiva* (11ª ed.). Bookman.
- Corrêa, H. L., & Corrêa, C. A. (2022). *Administração de produção e operações: Manufatura e serviços – Uma abordagem estratégica* (4ª ed.). Atlas.
- Ensslin, L., & Vianna, W. B. (2008). O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção – Questões epistemológicas. *Revista Produção Online*, 8(1).
- Favaretto, P., et al. (n.d.). *Projeto de layout industrial para uma empresa do ramo metal-mecânico com base nos princípios da produção enxuta*. <https://core.ac.uk/download/pdf/230455043.pdf>
- Fiedler, N. C., Wanderley, F. B., Nogueira, M., Oliveira, J. T. S., Guimarães, P. P., & Alves, R. T. (2009). Otimização do layout de marcenarias no sul do Espírito Santo baseada em parâmetros ergonômicos e de produtividade. *Revista Árvore*, 33(1), 161–170.

Gerlach, G., Da Silva, V. B., Dos Santos, L. A., & do Amaral Adamy, A. P. (2017). Proposta de melhoria de layout como fator para a otimização do processo produtivo organizacional. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, 10, 41–55.

Giraldeli, F., Ferreira, T., Gomes, P., Chirolí, D., Zola, F., & Aragão, F. (2018). Estudo do fluxo de processo para readequação de layout em uma empresa do segmento elétrico. *Exacta*, 16(4), 79–91. <https://doi.org/10.5585/exacta.v16n4.8020>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). Relatório Anual 2022. Brasília: IBA, 2022. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes/relatorios-anuais/>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). *Porto União (SC)*. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/porto-uniao.html>

Kobir, M., et al. (2023). A human factors approach to improve layout design for a virtual reality-based training platform. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 67(1), 1439–1444.

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2009). *Administração da produção e operações* (9ª ed.). Pearson Prentice Hall.

Martins, P. G., & Laugeni, F. P. (2005). *Administração da produção e operações* (2ª ed.). Saraiva.

Matos, J. V. R., Gomes, S. M., Matos, M. L. R., & Costa, D. de O. (2023). Aplicação de ferramentas da engenharia de métodos para proposição de melhorias no processo produtivo de uma panificadora. *Anais do XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*.

Miranda, I. M. X., Sales, G. F., Melo, A. S., & Berghauser, N. A. C. (2019). Proposta de otimização do layout de fábrica de uma pequena empresa do setor moveleiro através da aplicação do método SLP Simplificado. *Anais de evento científico na área de Engenharia de Produção*.

Oliveira, A. C. L., & Silva, G. C. (2020). *Otimização de processos utilizando o fluxograma como ferramenta de mapeamento de processo: Um estudo de caso em uma indústria de embalagens flexíveis*. Anais do VIII SIMEP.

Oliveira Filho, C. H. de. (2024). *Análise comparativa dos tipos de layouts e sua influência nas diferentes produções de indústrias de compensados de madeira* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Peinado, J., & Graeml, A. R. (2007). *Administração da produção: Operações industriais e de serviços*. UnicenP.

Pereira, T. A. A. (2018). *Melhoria de processos numa empresa de análises laboratoriais* (Tese de Doutorado). Universidade do Minho.

Pojo, D. M., Oliveira, E. B., Pereira, J. L., Santos, S. D., & Lopes, H. S. (2021). Análise logística da linha de produção em uma fábrica de compensados através de um projeto de simulação a eventos discretos. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)*.

Riani, M. A. (2006). *O Lean Manufacturing aplicado na Becton Dickinson*. http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2006_3_Aline.pdf

Shingo, S. (1981). *The Toyota production system*. Japan Management Association.

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2008). *Operations management* (6th ed.). Pearson Education.

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2015). *Administração da produção* (4ª ed.). Atlas.

Turute, A. C., Silva, R. N., & Nery, S. M. (2016). Proposta de arranjo físico em uma indústria de remanufatura de rolos de impressora. *XIV SEGET*. <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/392533.pdf>

Vieira, E. L. (2020). Proposta de melhoria no layout de um laboratório de análises clínicas utilizando o fluxograma de processo e o diagrama de Spaghetti. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(1), 23–28.

Woldemicael, W. W., et al. (2024). Melhorando a eficiência operacional da indústria de fabricação de couro por meio de um híbrido de mapeamento do fluxo de valor e simulação de eventos discretos. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2375423>

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *A máquina que mudou o mundo* (I. Korytowski, Trad.). Campus.

ANÁLISE DO PROCESSO DE RECEBIMENTO DE RESÍDUOS EM ATERRO SANITÁRIO POR MEIO DO CICLO PDCA E FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Juliana Gregorio de Melo (Julianagregorio957@gmail.com)

Everton Luiz Vieira (Everton.vieira@unespar.edu.br)

Resumo: O crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos tem ampliado os desafios operacionais e ambientais relacionados à gestão de aterros sanitários, especialmente no controle e na confiabilidade dos dados de recebimento e pesagem. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar o processo de recebimento de resíduos em um aterro sanitário, com foco no sistema de pesagem, utilizando a etapa P do ciclo PDCA e ferramentas da qualidade como suporte metodológico para identificar gargalos e propor melhorias. A pesquisa caracteriza-se como quantitativa e descritiva, desenvolvida por meio de um estudo de caso, com análise de 20.496 registros operacionais coletados entre janeiro e outubro de 2025. Os dados foram organizados e tratados em planilhas eletrônicas, possibilitando a aplicação integrada do Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, Método dos 5 Porquês e 5W2H, concentrando-se exclusivamente na fase Planejar do ciclo PDCA. Os resultados evidenciaram a concentração do fluxo de caminhões no intervalo entre 10h e 16h, indicando períodos críticos de sobrecarga operacional e formação de filas na balança. Identificou-se que o principal gargalo do processo está relacionado à existência de apenas uma balança, à sobrecarga do operador e à ausência de padronização nos registros de pesagem. Como contribuições, o estudo propôs um plano de ação estruturado, com medidas organizacionais de baixo custo e uma ação estratégica voltada à análise de viabilidade para implantação de uma segunda balança, fornecendo subsídios técnicos para a melhoria contínua, a padronização dos processos e o fortalecimento da gestão operacional e ambiental do aterro sanitário.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos; Controle Operacional; Planejamento de Processos.

ANALYSIS OF THE WASTE COLLECTION PROCESS IN A SANITARY LANDFILL USING THE PDCA CYCLE AND QUALITY TOOLS

Abstract: The growth in the generation of urban solid waste has amplified the operational and environmental challenges related to the management of sanitary landfills, especially in the control and reliability of collection and weighing data. In this context, this study aimed to analyze the waste collection process in a sanitary landfill, focusing on the weighing system, using the PDCA cycle and quality tools as methodological support to identify bottlenecks and propose improvements. The research was characterized as quantitative and descriptive, developed through a case study, with the analysis of 20,496 operational and financial records between January and October 2025. The data were organized and processed in spreadsheets, enabling the integrated application of the Pareto Diagram, Ishikawa Diagram, GUT Matrix, 5 Whys Method, and 5W2H, focusing exclusively on the Planning phase of the PDCA cycle. The results showed a concentration of truck traffic between 10:00 AM and 4:00 PM, indicating critical periods of operational overload and queue formation at the weighbridge. It was identified that the main bottleneck in the process is related to the existence of only one weighbridge, operator overload, and the lack of standardization in weighing records. As contributions, the study proposed a structured action plan with low-cost organizational measures and a strategic action focused on the feasibility analysis for implementing a second weighbridge, providing technical support for continuous improvement, process standardization, and strengthening the operational and environmental management of the landfill.

Keywords: Waste Management; Operational Control; Process Planning.

1. INTRODUÇÃO

A intensificação do processo de urbanização e o crescimento populacional têm contribuído de forma significativa para o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, configurando-se como um dos principais desafios ambientais e operacionais do século XXI. Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil gerou mais de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2023, evidenciando a pressão crescente sobre os sistemas de coleta, tratamento e disposição final. Nesse contexto, os aterros sanitários surgem como estruturas essenciais para o destino

dos resíduos sólidos urbanos, industriais e os classificados como classe II, demandando uma gestão eficiente dos dados operacionais para garantir segurança, conformidade e prolongamento da vida útil das células onde são feitas as destinações dos resíduos, considerando os impactos ambientais relacionados à geração de lixiviados e à ecotoxicidade dos resíduos (YATOO et al., 2024) e a necessidade de estratégias inovadoras e integradas de gestão sustentável (RAJPAL et al., 2024).

A gestão de resíduos sólidos pode ser entendida como o conjunto de ações de natureza política, econômica, ambiental e técnica voltadas ao manejo adequado de materiais descartados (Dias, 2012; Zago & Barros, 2019). Entretanto, muitos empreendimentos enfrentam falhas no controle e na organização dos dados de pesagem e recebimento, o que dificulta o planejamento de capacidade e a análise de desempenho. Diante dessas lacunas, surge a necessidade de sistemas de monitoramento mais precisos e padronizados, capazes de sustentar decisões baseadas em informações confiáveis.

O problema de pesquisa que orienta este estudo é, portanto, como a aplicação do ciclo PDCA e das ferramentas da qualidade pode contribuir para melhorar a gestão e o controle dos dados de recebimento de resíduos em um aterro sanitário. A justificativa do estudo decorre diretamente do desafio de fortalecer a eficiência operacional e a rastreabilidade das informações ambientais. Em muitos aterros, as planilhas de registro de pesagem apresentam inconsistências, ausência de padronização ou falhas na retroalimentação de dados, comprometendo indicadores de desempenho e dificultando ações corretivas. O uso do ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir), aliado a ferramentas da qualidade como Pareto, Ishikawa e 5 Porquês, oferece um caminho estruturado para compreender as causas das falhas, promover melhorias contínuas e otimizar o controle do processo.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar o processo de pesagem do aterro sanitário e propor melhorias, por meio da aplicação do ciclo PDCA e ferramentas da qualidade, visando reduzir filas e ociosidade na balança e aprimorar o monitoramento e controle das informações operacionais.

As contribuições teóricas do trabalho residem na integração entre os conceitos de gestão da qualidade e sustentabilidade dentro do contexto da engenharia de produção, reforçando a aplicação prática das ferramentas da qualidade em processos ambientais (De Moura, 2023). Já as contribuições práticas envolvem a criação de um modelo de análise de dados e um plano de ação baseado no PDCA, voltado à padronização e à melhoria contínua dos registros

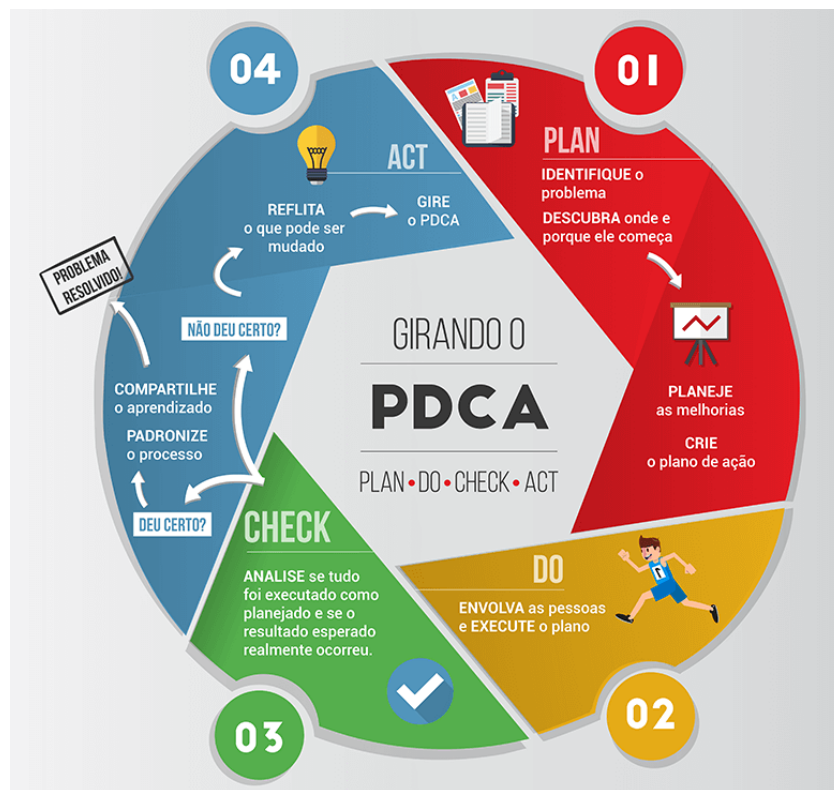
operacionais.

Este estudo está vinculado à área de Engenharia da Qualidade, uma das dez áreas temáticas da ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, pois aborda a aplicação de métodos e ferramentas de qualidade no aprimoramento de processos organizacionais, com ênfase na confiabilidade dos dados e na eficiência operacional (ABEPRO, 2025).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CICLO PDCA E MELHORIA CONTÍNUA

Figura 1: PDCA



Fonte: Rabello (2025)

O Ciclo PDCA é uma metodologia aplicada para promover a melhoria dos processos organizacionais, sendo composto pelas etapas Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act), e integrando o planejamento estratégico à execução operacional, otimizando os processos e o alcance de metas (Lima, 2021).

Na fase de Planejar, são definidos os objetivos e os indicadores de desempenho, com

uma análise das causas dos problemas e a identificação de oportunidades, sendo uma etapa fundamental, pois cria a base necessária para a execução do ciclo (Santos, 2022).

A fase de Executar envolve a implementação das ações, com foco na capacitação das equipes, de recursos e monitoramento dos resultados, onde é essencial garantir que a verificação posterior seja feita de forma precisa e eficaz (Ferreira, 2019).

Na etapa de Verificar, ocorre a análise dos resultados, comparando-os e identificando desvios de desempenho, promovendo o aprendizado e fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões que visam melhorar os processos (Oliveira, 2023).

Por fim, a fase de Agir visa consolidar as melhorias que apresentaram resultados satisfatórios e padronizar as práticas, desse modo, caso os objetivos não sejam atingidos, o ciclo retorna à fase de planejamento para garantir que os processos estejam sempre em evolução. (Lima, 2021). O PDCA quando aplicado em contextos como aterros sanitários, pode ser utilizado para controlar indicadores, como o volume de resíduos, eficiência dos transportes e qualidade dos registros de pesagem. (Santos, 2022).

Além disso, o PDCA promove uma cultura colaborativa, envolvendo diferentes níveis hierárquicos, enfatizando a eficiência, a padronização e o uso racional dos recursos (Ferreira, 2019), assim, a integração desses princípios permite uma gestão mais eficaz, sendo essenciais para a gestão da qualidade e a sustentabilidade operacional.

O PDCA é uma ferramenta essencial na gestão ambiental, onde busca otimizar seus processos e alcançar um nível elevado de eficiência, assim, sua aplicação contribui para a melhoria, garantindo resultados de qualidade e permitindo que as organizações se adaptem de forma proativa às mudanças (Oliveira, 2023).

2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE APLICADAS À GESTÃO DE RESÍDUOS

As ferramentas da qualidade são instrumentos fundamentais para a análise, o controle e a melhoria dos processos dentro da Engenharia de Produção. Elas possibilitam a coleta e interpretação estruturada de dados, facilitando a tomada de decisão e a resolução de problemas complexos de forma sistematizada. Quando associadas ao ciclo PDCA, tornam-se ainda mais eficazes, pois fornecem suporte visual e analítico em cada etapa do ciclo de melhoria contínua (Novaes, 2023; Mariani, 2005).

Dentre as ferramentas destacam-se o Diagrama de Pareto, o Diagrama de Ishikawa e o Método dos 5 Porquês, que permitem compreender a origem dos problemas, priorizar causas e desenvolver planos de ação consistentes. O Diagrama de Pareto tem como princípio que uma pequena quantidade de causas é responsável pela maior parte dos efeitos observados. Assim, identificar as variáveis mais críticas, como os tipos de resíduos que representam maior volume, os turnos de maior ocorrência de falhas ou as transportadoras com registros inconsistentes, auxilia o gestor a concentrar esforços nas causas mais impactantes, otimizando o uso de recursos (Dias, 2012). O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe (devido ao seu formato), é uma ferramenta amplamente utilizada quando é preciso investigar a causa de um problema (Júnior, 2010; Lélis, 2018).

O Diagrama de Ishikawa simplifica processos considerados complexos dividindo-os em processos mais simples e, portanto, mais controláveis (Tubino, 2000). Esta ferramenta é um método bastante efetivo na busca das raízes do problema (Slack, 2009). O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como “espinha de peixe” ou “causa e efeito”, contribui para a investigação detalhada das causas de um problema, organizando-as em categorias como método, material, máquina, mão de obra, meio ambiente e medição. No contexto da gestão de resíduos, ele é útil para visualizar de maneira estruturada fatores que levam a erros em registros de pesagem, atrasos nas operações ou inconsistências no controle de dados. Ao agrupar causas potenciais, facilita a análise integrada e a identificação de oportunidades de padronização e correção de processos (Pereira, 2012).

O Método dos 5 Porquês, por sua vez, é uma técnica de questionamento sucessivo que busca atingir a causa-raiz de um problema por meio da repetição da pergunta “por quê?”. Essa abordagem é simples, porém poderosa, pois evita soluções superficiais e conduz a um entendimento mais profundo das origens das falhas. De acordo ainda com Weiss (2011), embora seja denominada “5 por quês”, pode-se utilizar menos por quês (3, por exemplo) ou mais, conforme a necessidade, para que se encontre a causa raiz. Quando aplicado aos processos de um aterro sanitário, permite identificar, por exemplo, se uma inconsistência nos dados decorre de falha humana, ausência de treinamento, sistema inadequado de registro ou falta de integração entre setores (Nogueira, 2020).

A utilização conjunta dessas ferramentas proporciona uma visão analítica e abrangente da operação. O Diagrama de Pareto auxilia na priorização dos problemas, o Diagrama de

Ishikawa permite visualizar e categorizar as causas e o Método dos 5 Porquês conduz à compreensão das causas-raiz. Essa integração cria uma base sólida para a construção de planos de ação dentro do ciclo PDCA, fortalecendo o processo de melhoria contínua e de controle da qualidade (Novaes, 2023).

Além dessas ferramentas, a Matriz GUT e o 5W2H são métodos complementares para a priorização e planejamento de ações, avaliando a Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T) dos problemas e estruturando o planejamento com sete perguntas-chave (What, Why, Where, When, Who, How, How Much) (Santos, 2023). Esses métodos, quando utilizados em conjunto com as ferramentas da qualidade, ampliam a capacidade de análise e organização das informações, reforçando a tomada de decisão e a eficiência na implementação de soluções.

Integração de ferramentas da qualidade na gestão ambiental: O uso conjunto do Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês, aliado ao ciclo PDCA, permite identificar causas-raiz, priorizar problemas e estruturar planos de ação de forma eficiente. Essa abordagem aumenta a confiabilidade das informações, padroniza registros, melhora a rastreabilidade de dados e fortalece a tomada de decisão baseada em evidências, reduzindo desperdícios e inconsistências. Além disso, otimiza recursos, garante conformidade ambiental e promove a melhoria contínua, consolidando-se como instrumento estratégico para a qualidade, a sustentabilidade e a eficiência operacional em processos de engenharia e gestão ambiental (Novaes, 2023; Dias, 2012; Pereira, 2012; Nogueira, 2020).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 Caracterização da pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza quantitativa e descritiva, conduzida por meio de uma análise de dados em um setor de gestão de resíduos. Essa abordagem mostra-se adequada ao objetivo proposto, pois compreender o funcionamento do processo de pesagem e identificar oportunidades de melhoria exige uma análise detalhada de dados reais no contexto operacional do aterro sanitário (Gil, 2019).

A pesquisa quantitativa visa analisar informações numéricas provenientes dos registros operacionais do aterro, o que permite identificar padrões, avaliar o desempenho da balança e relacionar variáveis como volume de resíduos, turnos, transportadoras e tempo de atendimento. Esse tipo de metodologia, conforme Marconi e Lakatos (2018), possibilita transformar dados

brutos em indicadores que apoiam diretamente a tomada de decisões, alinhando-se ao objetivo de reduzir filas e otimizar o uso da balança.

O caráter descritivo da pesquisa reforça o objetivo, pois permite apresentar e interpretar as características do processo de controle de dados no recebimento de resíduos sem interferir nas operações. Isso possibilita compreender como o sistema funciona atualmente, identificando falhas e inconsistências que impactam o controle e o monitoramento operacional. A escolha do estudo de caso se justifica por possibilitar uma análise aprofundada de uma realidade específica, permitindo observar particularidades do processo de pesagem e aplicar ferramentas da qualidade de forma direcionada (Yin, 2015).

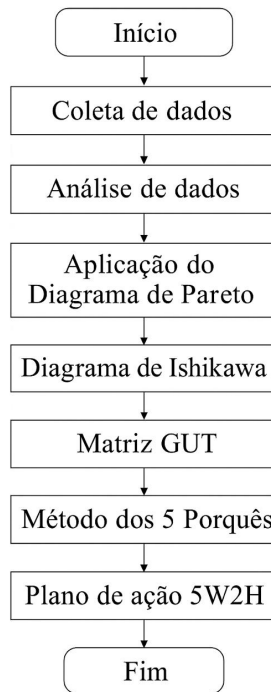
O escopo da pesquisa, que abrange o sistema de pesagem, registros de entrada, classificação de resíduos, transportadoras, turnos e quantidades recebidas, foi definido justamente para atender ao objetivo de aprimorar o monitoramento e o controle das informações operacionais. Ao investigar como esses dados são coletados, organizados e utilizados, torna-se possível identificar inconsistências nas planilhas e propor melhorias que contribuam para a redução de filas e da ociosidade na balança.

3.2 Etapas de desenvolvimento

Para facilitar a visualização das etapas metodológicas adotadas, elaborou-se um fluxograma que sintetiza o processo de coleta, tratamento, análise e proposição de melhorias realizado ao longo da pesquisa. A definição das ferramentas ocorreu conforme a natureza dos problemas identificados e a necessidade de cada etapa, selecionando-se instrumentos voltados à identificação das concentrações de ocorrências, à investigação das causas, à priorização dos problemas e à construção estruturada das ações.

A Figura 2 apresenta de forma sequencial as ações executadas, desde o levantamento dos dados até a elaboração do plano de ação, mantendo alinhamento com a lógica do objetivo geral da pesquisa e permitindo visualizar como cada etapa direcionou o uso dos métodos adotados.

Figura 2 - Fluxograma



Fonte: Autora (2025)

O desenvolvimento metodológico foi alinhado à lógica do ciclo PDCA e fundamentado na aplicação das ferramentas da qualidade. Cada fase teve o propósito de conduzir o processo de análise de forma estruturada e cíclica, garantindo a confiabilidade dos resultados e a viabilidade das propostas de melhoria (Falconi, 2014).

3.2.1 Planejamento e coleta de dados (Plan)

Inicialmente, realizou-se o levantamento de informações referentes ao processo de recebimento de resíduos na empresa, utilizando como fonte os registros de pesagem extraídos das planilhas operacionais geradas pelo sistema corporativo SAGI, embora o registro inicial dos dados seja realizado manualmente pelos operadores. Foram coletados 20.496 dados referentes ao período de janeiro a outubro de 2025, contendo informações como tipo de resíduo, data, horário, turno, placa do veículo, transportadora e peso líquido. A empresa, localizada em Paranaguá, Paraná, recebe em média 350 toneladas diárias de resíduos, o que evidencia a importância de analisar com precisão o comportamento desse fluxo operacional.

Os dados coletados foram organizados e tabulados no software Microsoft Excel, o que permitiu estruturar as informações de forma que fosse possível identificar padrões relevantes, como a concentração de chegadas de caminhões em determinados horários. Esse tratamento

dos dados proporcionou uma visão clara das condições reais do processo e forneceu suporte para as etapas analíticas posteriores. Martins (2021) ressalta a utilidade das ferramentas computacionais na gestão da produção e no controle da qualidade, reforçando a pertinência do procedimento adotado.

Para este estudo, utilizou-se a amostragem não probabilística por conveniência, considerando todos os registros disponíveis no banco de dados operacional durante o período analisado. A escolha desse tipo de amostragem viabilizou o uso integral das informações acessíveis e representou adequadamente a rotina do processo estudado. A empresa foi selecionada pela disponibilidade dos dados, pela abertura à pesquisa e pela relevância de suas operações, fatores que permitiram desenvolver a investigação com profundidade e fidelidade ao contexto real.

Após a organização e análise dos dados, procedeu-se à aplicação das ferramentas da qualidade. Inicialmente, elaborou-se o Diagrama de Pareto para identificar quais turnos concentravam os maiores volumes e ocorrências, considerando os 10 principais horários com maior concentração de registros, definidos a partir da mensuração realizada na base de dados, o que também permitiu identificar os tipos de resíduos predominantes em cada período. Em seguida, aplicou-se o Diagrama de Ishikawa para mapear as possíveis causas da chegada concentrada de caminhões em determinados horários, elaborado com o apoio da operadora responsável pelo turno na área de pesagem. A análise foi complementada pela Matriz GUT, construída com base no princípio 80/20 para priorizar as causas mais relevantes, permitindo, na sequência, a aplicação do Método dos 5 Porquês para aprofundar a investigação e identificar as causas-raiz dos problemas. Por fim, estruturou-se um plano de ação 5W2H com as propostas de melhoria identificadas. Segundo Silva et al. (2013, p. 3), “a ferramenta 5W2H foi criada por profissionais da indústria automobilística do Japão como uma ferramenta auxiliar na utilização do PDCA, principalmente na fase de planejamento”, reforçando sua aplicabilidade no apoio à organização e à sistematização das ações de melhoria.

Com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores, elaborou-se um plano de ação fundamentado nas quatro fases do ciclo PDCA, considerando a priorização estabelecida pela Matriz GUT. As propostas concentraram-se na padronização de procedimentos, no desenvolvimento de indicadores de controle e no aprimoramento dos formulários de registro, de modo a fortalecer o acompanhamento do fluxo operacional e reduzir as situações que contribuem para períodos de ociosidade. Essa etapa buscou transformar as evidências

levantadas na análise em intervenções práticas capazes de minimizar desvios e apoiar a melhoria contínua do processo, conforme destaca Novaes (2023) ao ressaltar a importância de sistematizar ações a partir dos diagnósticos identificados.

Considerando que este estudo se concentrou exclusivamente na fase Plan do ciclo PDCA, não houve implementação prática das ações propostas, o que impossibilita a comparação direta entre indicadores antes e depois das melhorias sugeridas. Assim, a avaliação realizada refere-se à consistência das análises desenvolvidas, à pertinência das causas identificadas e à coerência das ações planejadas para reduzir a ociosidade no processo de recebimento de resíduos. A validação efetiva dos resultados será possível apenas em trabalhos futuros, quando forem aplicadas as fases Do, Check e Act, momento em que o indicador de desempenho previsto, referente ao tempo de redução da espera e da ociosidade dos caminhões, poderá ser mensurado e comparado ao cenário atual.

A metodologia adotada neste trabalho, ao integrar a análise quantitativa dos dados, a aplicação das ferramentas da qualidade e a estruturação preliminar das ações conforme o modelo PDCA, forneceu uma base sistemática sólida para a compreensão do processo operacional do aterro sanitário. Essa abordagem reforça o papel do engenheiro de produção na elaboração de diagnósticos confiáveis e na construção de soluções tecnicamente fundamentadas, contribuindo para a eficiência, a redução da ociosidade e a melhoria da gestão de resíduos, conforme apontado por Nogueira (2020).

3.3 Análise de Dados

A etapa de análise de dados teve como objetivo examinar os registros de recebimento de resíduos provenientes da balança operacional do aterro sanitário, identificando padrões, comportamentos e inconsistências relevantes para a compreensão do processo estudado. Para isso, foram utilizadas técnicas de estatística descritiva e ferramentas da qualidade, permitindo transformar dados brutos em informações que subsidiam a tomada de decisão e orientam o planejamento de melhorias no sistema de controle de pesagem (Marconi, 2018).

Essa análise também considerou a relação entre o recebimento de resíduos e os turnos operacionais, com o propósito de mapear o fluxo ao longo do dia e identificar horários de maior demanda. Esse entendimento é fundamental para o planejamento da capacidade produtiva e para a adequada alocação de recursos humanos e materiais no processo (Novaes, 2023).

Além dos aspectos operacionais, os resultados obtidos contribuem para a fase Check do ciclo PDCA, ao possibilitar a comparação do desempenho atual com padrões e metas estabelecidos. Com base nessas informações, foram elaboradas recomendações e propostas de ações corretivas e preventivas, visando à melhoria contínua do registro e monitoramento dos dados de pesagem (Falconi, 2014).

Dessa forma, a análise de dados se consolidou como elemento central para a construção do diagnóstico da pesquisa, convertendo registros operacionais em informações estratégicas para a gestão do aterro sanitário. Esse processo de sistematização está alinhado aos princípios da Engenharia de Produção, reforçando o papel do engenheiro na interpretação de dados para aprimorar a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade das operações de gestão de resíduos (Nogueira, 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção decorrem da análise dos dados operacionais do processo de recebimento de resíduos em um aterro sanitário, com foco na identificação de gargalos, padrões de comportamento e causas associadas à formação de filas na balança rodoviária. A condução da análise foi estruturada com base na lógica do ciclo PDCA, entretanto, o escopo deste estudo concentrou-se exclusivamente na etapa de Planejamento (Plan), que compreende a identificação do problema, análise de dados, diagnóstico das causas e definição de ações potenciais de melhoria.

Dessa forma, não houve implementação, verificação ou padronização das ações propostas, correspondentes às etapas *Do*, *Check* e *Act*. Essas fases são indicadas como desdobramentos naturais da pesquisa e poderão ser desenvolvidas em trabalhos futuros, a partir das proposições aqui apresentadas. Assim, os resultados discutidos a seguir devem ser compreendidos como um diagnóstico aprofundado do processo, fundamental para subsidiar decisões gerenciais e intervenções posteriores.

Assim, esse trabalho revelou a importância da Engenharia de Produção especialmente na eficiência da operação e na sustentabilidade do meio ambiente, principalmente no que se refere a gestão de resíduos sólidos urbanos, assim, ao direcionar o processo de recebimento e pesagem no aterro sanitário, o estudo reforça ainda que essas atividades de operações podem provocar impactos de grande significância quando não são estruturadas da maneira correta.

Sendo assim, nesse sentido, a seleção do ciclo de PDCA torna-se pertinente, pois permite uma organização sistemática e lógica da investigação, alinhando, por exemplo, diagnósticos de problemas às práticas de consolidação de melhorias.

Ademais, a escolha de concentrar o escopo somente no Planejamento mostrou-se coerente com o objetivo do trabalho, pois, a compreensão completa do processo, bem como das causas dos problemas, complementam a base de qualquer intervenção de maneira eficaz, visto que muitas iniciativas falham por avançarem para a execução sem uma análise consistente, reforçando a importância da abordagem adquirida, assim, o trabalho contribui diretamente para demonstrar como o planejamento gera valor ao oferecer subsídios para a tomada de decisões gerenciais, mesmo sem as implementações das ações.

A integração das ferramentas da qualidade ao ciclo PDCA representa outro ponto relevante da discussão, pois evidencia a complementaridade entre métodos analíticos e a gestão estruturada de processos, assim, o uso combinado de ferramentas como Pareto, Ishikawa, Matriz GUT, 5 Porquês e 5W2H permitiu tratar o problema de forma sistêmica, evitando análises superficiais ou soluções isoladas, dessa forma, essa abordagem reforça o papel do engenheiro de produção como agente capaz de transformar dados operacionais em informações estratégicas, contribuindo para o aprimoramento contínuo dos processos e para a confiabilidade das informações ambientais.

Assim, do ponto de vista da gestão dos recursos, o estudo destacou a importância da padronização e do controle de registros operacionais, como o acompanhamento do desempenho, os elementos fundamentais para o planejamento e o atendimento às exigências legais, uma vez que a ausência dessas informações, comuns em muitas empresas do setor, comprometem a transparência e a rastreabilidade dos dados, desse modo, o estudo amplia a discussão sobre a necessidade de incorporar princípios da gestão da qualidade em processos ambientais, tradicionalmente tratados apenas sob a ótica normativa.

No âmbito acadêmico, a pesquisa contribui ao reforçar a aplicabilidade prática dos conceitos de qualidade e melhoria contínua em contextos reais, aproximando a teoria da realidade operacional dos aterros sanitários, nesse sentido, a abordagem metodológica adotada pode ser replicada em outros empreendimentos do setor ou adaptada a diferentes processos logísticos e industriais, ampliando o potencial de generalização do modelo proposto e, além disso, o estudo dialoga diretamente com a área de Engenharia da Qualidade da ABEPRO, ao

evidenciar como ferramentas clássicas podem ser empregadas em problemas contemporâneos ligados à sustentabilidade.

Portanto, embora o estudo já apresente as limitações que são decorrentes da não implementação das etapas do ciclo PDCA, essa limitação não invalida a sua contribuição, pois, esta reforça o objetivo do estudo como o ponto de partida para melhorias futuras e os diagnósticos estruturados, assim, a continuidade do ciclo dessas pesquisas permitirá a validação das ações, bem como mensurar seus impactos, cumprindo seu papel ao fornecer uma base técnica sólida para decisões futuras e ao demonstrar o potencial da Engenharia de Produção na promoção de processos mais eficientes, confiáveis e sustentáveis.

4.1 Planejar (Plan)

A etapa de Planejamento teve como objetivo compreender o comportamento do fluxo de entrada de caminhões no sistema de pesagem, identificar períodos críticos de operação e analisar os fatores que contribuem para a formação de filas e sobrecarga operacional. Para isso, foram analisados os registros operacionais da balança, considerando a quantidade de entradas por horário ao longo do período estudado.

A contagem dos registros evidenciou a existência de faixas horárias com fluxo significativamente superior à média diária, destacando-se o intervalo entre 10h e 15h. Essa concentração de entradas intensifica a formação de filas, eleva o tempo de espera dos veículos e aumenta a carga de trabalho do operador, considerando que o processo dispõe de apenas uma balança e um único responsável por turno. Essas constatações foram corroboradas por observação direta da operação e por conversas informais com a colaboradora da área de pesagem, permitindo complementar a análise quantitativa com a percepção prática do processo.

Com o intuito de compreender a distribuição dos resíduos ao longo do dia, realizou-se a classificação dos tipos de resíduos recebidos por horário. Essa análise possibilitou identificar quais materiais predominam nos períodos de maior movimento, contribuindo para a

compreensão das dinâmicas operacionais e das possíveis causas associadas aos picos de entrada.

Quadro 1 - Resíduos concentrados por horário

Horário	Tipo de Resíduo
08h	Entulhos em Geral
09h	Entulhos em Geral
10h	Entulhos em Geral
11h	Lixo Domiciliar
12h	Lixo Domiciliar
13h	Lixo Domiciliar
14h	Lixo Domiciliar
15h	Entulhos em Geral
16h	Não Reciclável
17h	Não Reciclável

Fonte: Autora (2025)

Com base nos dados coletados, foi elaborado o Gráfico de Pareto a partir dos dez horários com maior volume de entradas de caminhões na balança, conforme Tabela 1 e Figura 3. A análise indicou que cerca de 70% das movimentações concentram-se no intervalo entre 10h e 16h, com destaque para os horários de 10h, 11h e 15h. Esse resultado evidencia que uma faixa específica da jornada operacional concentra a maior parte da demanda, caracterizando um

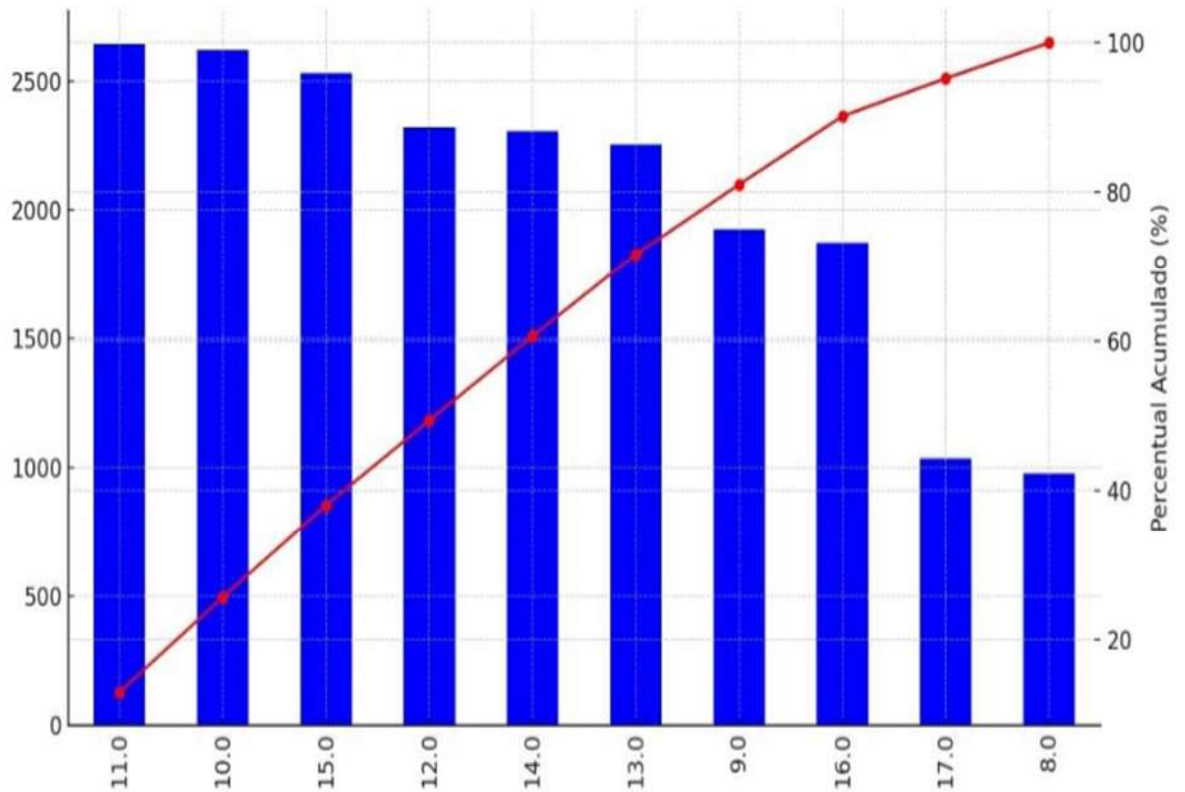
cenário de sobrecarga do sistema de pesagem e reforçando a necessidade de aprofundamento do diagnóstico das causas associadas à concentração do fluxo nesse período.

Tabela 1: Dados para a construção do gráfico de Pareto

Horário de registro	Quantidade de entradas de caminhões	%	Acumulado %
11h lixo domiciliar	2644	13%	13%
10h entulhos em geral	2623	13%	26%
15h entulhos em geral	2532	12%	38%
12h lixo domiciliar	2322	11%	49%
14h lixo domiciliar	2307	11%	61%
13h lixo domiciliar	2255	11%	72%
09h entulhos em geral	1926	9%	81%
16h não reciclável	1873	9%	90%
17h não reciclável	1037	5%	95%
08h entulhos em geral	977	5%	100%
Total	20496	100%	

Fonte: Autora (2025)

Figura 3 – Diagrama de Pareto



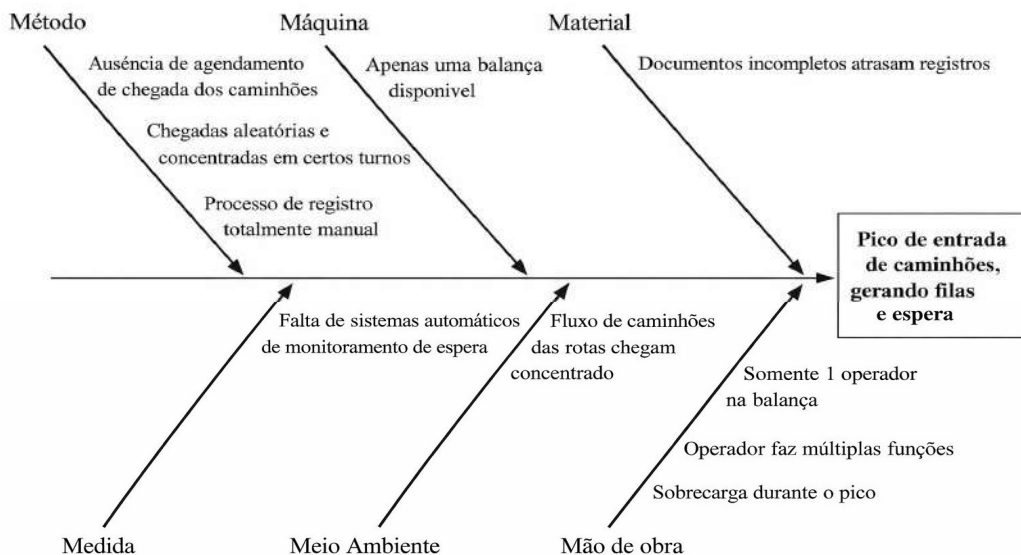
Nota: Autora (2025)

A análise dos dados confirma que o sistema opera próximo ao limite durante esses períodos, devido tanto ao volume de caminhões quanto à limitação estrutural do processo. A partir dessa constatação, prosseguiu-se para a etapa de verificação das causas, utilizando ferramentas como Ishikawa, Matriz GUT e 5 Porquês, apresentadas no item seguinte.

Para identificar as causas potenciais do problema, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa, estruturado a partir da análise dos dados e das observações realizadas junto aos operadores. A ferramenta permitiu organizar as causas em categorias como Máquina, Método,

Mão de Obra, Medição e Meio Ambiente, evidenciando que o gargalo não é causado por um único fator, mas por um conjunto de limitações estruturais e procedimentais (Figura 4).

Figura 4 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autora (2025)

A análise evidenciou que o acúmulo de caminhões não decorre de um único fator isolado, mas da combinação entre a existência de apenas uma balança, a realização manual dos registros, a sobrecarga do operador, a falta de padronização documental e a concentração das rotas de coleta em um mesmo intervalo de tempo. Dessa forma, o problema apresenta caráter multifatorial, exigindo a priorização adequada das causas para a definição de ações eficazes.

A investigação das causas foi aprofundada por meio da Matriz GUT, aplicada com o objetivo de priorizar os problemas identificados no Diagrama de Ishikawa. Cada causa foi avaliada quanto aos critérios de Gravidade, Urgência e Tendência, conforme apresentado no Quadro 3. A análise apontou como fatores mais críticos a existência de apenas uma balança

disponível e a sobrecarga do operador, que intensificam os efeitos da demanda concentrada e impactam diretamente o desempenho do processo de pesagem.

Quadro 3 – Matriz GUT

Causa	Gravidade	Urgência	Tendência	GUT
Apenas 1 balança disponível	5	5	5	125
Processo de registro manual	4	4	4	64
Documentos incompletos atrasam registro	3	4	4	48
Operador faz múltiplas funções	4	5	5	100
Chegadas aleatórias de caminhões	3	4	3	36

Fonte: Autora (2025)

Com base na priorização obtida por meio da Matriz GUT, definiu-se como causa mais crítica a existência de apenas uma balança disponível, por apresentar a maior pontuação e maior

impacto sobre o desempenho do processo de pesagem. A fim de aprofundar a compreensão dessa causa, aplicou-se o Método dos 5 Porquês, conforme descrito no Quadro 4.

Quadro 4 – Método dos cinco Porquês

	Por quê?	Respostas
	Por que ocorrem filas e aumento do tempo de espera na pesagem?	Porque há acúmulo de caminhões nos horários de pico, gerando sobrecarga no atendimento.
	Por que ocorre acúmulo de caminhões nos horários de pico?	Porque muitos caminhões chegam simultaneamente à balança em determinados períodos do dia.
	Por que ocorre acúmulo de caminhões nos horários de pico?	Porque as coletas seguem horários pré-determinados, o que faz com que diferentes rotas cheguem ao aterro no mesmo intervalo de tempo.
	Por que esses horários pré-determinados impactam a operação de pesagem?	Porque o volume de caminhões que chega nesses períodos excede a capacidade de atendimento de uma única balança.
	Por que a operação permanece com apenas uma balança para atender essa demanda?	Porque a capacidade instalada não foi dimensionada considerando os picos gerados pelos horários fixos de coleta, além da ausência de alternativas estruturais para absorver a demanda concentrada.

Fonte: Autora (2025)

Ainda na etapa Planejar, foi elaborado o plano de ação por meio da ferramenta 5W2H, apresentado no Quadro 5, com foco na mitigação da causa priorizada, relacionada à existência de apenas uma balança. As ações propostas contemplam medidas organizacionais, como padronização dos registros, elaboração de procedimentos operacionais padrão e capacitação dos operadores, bem como uma ação estrutural estratégica voltada à análise de viabilidade para implantação de uma segunda balança. A definição deste plano encerra a etapa de planejamento

do ciclo PDCA, ficando a implementação e a avaliação dos resultados previstos para fases posteriores da melhoria contínua.

Quadro 5 - Plano de ação 5w2h

O quê?	Por quê?	Onde?	Quando?	Quem?	Como?	Quanto?
Implantar segunda balança	A existência de apenas uma balança é o principal gargalo do processo, conforme priorização da Matriz GUT	Área de pesagem	Após aprovação da gestão	Engenharia / Operação	Estudo de viabilidade, cotação, aquisição, instalação e calibração	R\$ 220.000
Padronizar o processo de registro	Reduzir o tempo de atendimento e erros no registro manual	Balança	Após aprovação da gestão	Operação	Elaboração de formulário padrão e checklist de conferência	Baixo custo
Elaborar POP da pesagem	Garantir execução padronizada do processo, independentemente do operador	Área de pesagem	Após aprovação da gestão	Engenharia / Operação	Documentar etapas do processo, responsabilidades e tempos esperados	Baixo custo

Treinar operadores	Reduzir retrabalho e aumentar agilidade no atendimento	Área operacional	Após aprovação da gestão	Supervisão	Treinamento prático e teórico sobre POP e preenchimento correto	Baixo custo
Monitorar horários de pico	Acompanhar a eficácia das ações e identificar novos gargalos	Balança	Contínuo	Supervisão	Controle diário dos tempos de atendimento e filas	Baixo custo

Fonte: Autora (2025)

Após a proposição das ações, os resultados decorrentes de sua implementação serão avaliados em um trabalho futuro, por meio de monitoramentos sistemáticos, possibilitando a comparação do desempenho do processo antes e após as melhorias propostas. As demais etapas do ciclo PDCA serão aplicadas em estudos posteriores, permitindo a continuidade do método e assegurando que as soluções definidas contribuam para a estabilidade e a eficiência da operação ao longo do tempo.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar o processo de recebimento e pesagem de resíduos em um aterro sanitário, aplicando o ciclo PDCA e ferramentas da qualidade como suporte metodológico para identificar gargalos e propor melhorias. A pesquisa concentrou-se exclusivamente na etapa Planejar (Plan), contemplando a coleta, organização e análise dos dados operacionais, bem como o diagnóstico das causas associadas à formação de filas e à ociosidade no sistema de pesagem. A metodologia empregada, de natureza quantitativa e

descritiva, permitiu estruturar um diagnóstico consistente do processo, alinhado aos princípios da Engenharia da Qualidade.

Os principais resultados evidenciaram uma concentração significativa do fluxo de caminhões no intervalo entre 10h e 16h, caracterizando períodos críticos de sobrecarga operacional. A aplicação integrada das ferramentas da qualidade possibilitou identificar que o gargalo do processo é multifatorial, destacando-se como causas prioritárias a existência de apenas uma balança disponível, a sobrecarga do operador e a ausência de padronização nos registros de pesagem. Como implicações práticas e gerenciais, o estudo resultou na proposição de um plano de ação estruturado, com medidas organizacionais de baixo custo e uma ação estratégica voltada à análise de viabilidade para implantação de uma segunda balança, oferecendo subsídios objetivos para a tomada de decisão pelos gestores.

Como limitação, destaca-se que não foi possível implementar e avaliar as ações propostas, uma vez que as etapas Do, Check e Act do ciclo PDCA não foram desenvolvidas neste trabalho, em razão de restrições de tempo e de escopo da pesquisa. Dessa forma, não houve mensuração dos impactos das melhorias sugeridas sobre os indicadores de desempenho. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a continuidade do ciclo PDCA, com a implementação das ações planejadas, o monitoramento dos resultados e a validação dos ganhos operacionais, permitindo avaliar de forma quantitativa a redução das filas, da ociosidade e o aprimoramento do controle dos dados de pesagem.

REFERÊNCIAS

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Áreas e subáreas da Engenharia de Produção. Disponível em: <https://portal.abepro.org.br/abepro2025/profissao/>

DE MOURA, Luiz Antônio Abdalla. Qualidade e gestão ambiental: Sustentabilidade e ISO 14001. Freitas Bastos, 2023.

DIAS, S. G. (2012). O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. GV-executivo, 11(1), 16–20.

FALCONI, V. (2014). O verdadeiro poder (4a ed.). Falconi Editora.

FERREIRA, F. F. M. et al. Aplicação da metodologia PDCA para otimização dos processos em

uma indústria de bonés. Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 9. Anais ... Ponta Grossa, PR. 2019. Disponível em: <http://portal.abepro.org.br/enegep/>.

GIL, A. C. (2019). Métodos e técnicas de pesquisa social (7a ed.). Atlas.

JUNIOR, C. C. M. F. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. São Paulo: INGEPRO, 2010.

LÉLIS, E. C. (2018). Gestão da qualidade. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil. <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/184057/pdf/0?code=fOsMKBjw5/9744IE1J+PiVcV2fJ1n8mVmjZIIL591f2r0/XEFy+eDIxVODtBGqdnM+FBMzsvbTQByrY7JbrjrQ==>.

LIMA, P. H. Aplicação do Ciclo PDCA na indústria de móveis sob demanda: estudo de caso. Revista Gestão Industrial, v. 17, n. 4, p. 45-60, 2021.

MARIANI, Celso Antonio. Método PDCA e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. RAI-Revista de Administração e Inovação, v. 2, n. 2, p. 110-126, 2005.

MARCONI, M. A., & Lakatos, E. M. (2018). Fundamentos de metodologia científica (8a ed.). Atlas.

MARTINS, P. G., & Laugeni, F. P. (2021). Administração da produção (3a ed.). Saraiva.

NOGUEIRA, Cintia Alves. Diagnóstico holístico de BPM. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NOGUEIRA, L. Í. A., Martins, I. C., & Silva, G. R. (2020). A gestão de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento sustentável: uma revisão. Environmental Scientiae, 2(1), 48–57.

NOVAES, J. H., César, A. S., & Mozer, T. S. (2023). Indicadores de sustentabilidade para gestão de resíduos sólidos urbanos. Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 12, 1–21.

OLIVEIRA, CARLA M. Estratégias de automação no ciclo PDCA em ambientes produtivos digitais. Revista De Engenharia Aplicada, V. 28, N. 3, P. 113–127, 2023.

PEREIRA, A. L., & Maia, K. M. P. (2012). A contribuição da gestão de resíduos sólidos e educação ambiental na durabilidade de aterros sanitários. *Sinapse Múltipla*, 1(2).

PEREIRA, Sara Felix. Gestão e controle da qualidade de obra de um Centro Produtivo de Torres Eólicas, conforme especificações CEB-FIB, Sistema Toyota de Produção e filosofia "Lean Thinking". 2012.

RAJPAL, Ankur et al. (Ed.). Gestão e tratamento de resíduos: avanços e inovações . CRC Press, 2024.

SANTOS, Gustavo Soares; MAROTTA, Luiza Ignez Mollica; LOPES, Diogo Plachi. Avaliação De Qualidade Utilizando Os Métodos De Folha De Verificação De Serviço E Pdca Em Uma Obra Residencial. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 3, p. 880-905, 2022.

SANTOS, Renata; FERREIRA, Pedro. A importância da conscientização no processo produtivo. 3. ed. Porto Alegre: Editora Industrial, 2023.

SILVA, Alisson O. da, et al. Gestão da Qualidade: Aplicação da Ferramenta 5W2H como Plano de Ação para Projeto de Abertura de uma Empresa. Faculdade Horizontina – FAHOR, 2013.

SLACK,N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. Administração da Produção; Revisão técnica Henrique Corrêia, Irineu Gíaresi. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. São Paulo: Atlas, 2000

WEISS, A.E. Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011

YATOO, Ali Mohd et al. Perspectiva global de resíduos sólidos urbanos e lixiviados de aterro: geração, composição, ecotoxicidade e estratégias de gestão sustentável. *Environmental Science and Pollution Research* , v. 31, n. 16, p. 23363-23392, 2024.

YIN, R. K. (2015). Estudo de caso: planejamento e métodos (5a ed.). Bookman.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. Engenharia

Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 02, p. 219-228, 2019.

ANÁLISE DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA UNIVERSIDADE NO PARANÁ

Victor Augusto Veiga Cardoso (victoraugustoveigax@gmail.com)

Tatiane Caroline Ferrari (tatiane.ferrari@unespar.edu.br)

Resumo: Este trabalho analisa a gestão de resíduos sólidos em uma universidade pública de porte médio, localizada no estado do Paraná, com o objetivo de identificar fragilidades nos processos de segregação, descarte e conscientização ambiental. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, utilizando observação direta e entrevistas semiestruturadas com colaboradores do setor de limpeza, cujos dados foram analisados por meio da técnica de análise de conteúdo. Os resultados indicaram descarte incorreto, baixa participação da comunidade acadêmica e ausência de treinamentos institucionais, apesar da existência de infraestrutura adequada. Com base nos achados, foi elaborado um plano de ação com a ferramenta 5W1H, visando aprimorar a gestão de resíduos. Conclui-se que ações contínuas de orientação e padronização podem fortalecer a cultura sustentável e melhorar a eficiência do gerenciamento no ambiente universitário.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Educação Ambiental; Plano de Ação; Política Nacional de Resíduos Sólidos; 5W1H.

ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT AT A UNIVERSITY IN PARANÁ

Abstract: This study analyzes solid waste management at a medium-sized public university located in the state of Paraná, aiming to identify weaknesses in the processes of segregation, disposal, and environmental awareness. The research adopted a qualitative approach, using direct observation and semi-structured interviews with cleaning staff, whose data were analyzed

using content analysis techniques. The results indicated incorrect disposal, low participation from the academic community, and a lack of institutional training, despite the existence of adequate infrastructure. Based on the findings, an action plan was developed using the 5W1H tool, aiming to improve waste management. It concludes that continuous guidance and standardization actions can strengthen a sustainable culture and improve the efficiency of waste management in the university environment.

Keywords: Sustainability; Environmental Education; Action Plan; National Solid Waste Policy; 5W1H.

1. INTRODUÇÃO

O aumento na produção de resíduos sólidos se tornou uma preocupação global, visto que o descarte inadequado desses resíduos tem causado impactos negativos ao meio ambiente, prejudicando a qualidade do solo, da água e do ar, gerando consequências nocivas à saúde da população mundial (SILVA; SANTOS; SANTOS, 2024). De acordo com Juliatto, Calvo e Cardoso (2011), as instituições de ensino superior estão se tornando cada vez mais importantes na busca por soluções, se destacando no ensino, na pesquisa e na extensão. Nesse contexto, essas organizações têm um papel essencial em conscientizar e desenvolver estratégias ambientais e energéticas. Por isso, é importante que as universidades não apenas adotem boas práticas na gestão de resíduos sólidos, mas também mostrem os benefícios dessas ações.

No Brasil, a Lei 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispendo sobre os princípios, diretrizes, objetivos e instrumentos relativos ao gerenciamento desses resíduos. Nessa regulamentação, resíduos sólidos são definidos como materiais descartados que resultam da atividade humana, em estado sólido ou semissólido, proveniente de fontes como residência, comércios, indústrias, instituições públicas, entre outros (BRASIL, 2010). Nos ambientes voltados ao ensino superior, esses resíduos incluem papel, plástico, vidro e lixo orgânico, que necessitam de procedimentos específicos para seu tratamento e descarte.

A destinação inadequada dos resíduos sólidos, cuja geração tem aumentado significativamente, pode favorecer a proliferação de vetores e outros transmissores de doenças. Além disso, essa prática compromete a estética das áreas afetadas, provocando sua degradação, desvalorização e diversos impactos negativos tanto para o ser humano quanto para o meio

ambiente (TENÓRIO; ESPINOSA, 2004).

Para Simião (2011), a gestão dos resíduos sólidos deve-se basear na adoção de medidas preventivas de eliminação ou minimização passando pela reciclagem e tratamento até chegar à opção de menor prioridade à disposição final. Segundo De Benedicto et al. (2023), tratar corretamente os resíduos sólidos contribui significativamente para a concretização de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, incluindo aqueles relacionados à saúde, ao acesso à água e ao saneamento, à sustentabilidade urbana, ao uso consciente dos recursos e ao enfrentamento das mudanças climáticas.

Embora alguns autores, como Menezes e Mol (2021), Tavares (2020) e Barros (2021) reconheçam a importância da gestão de resíduos sólidos nas universidades como um meio essencial para a promoção da sustentabilidade, é possível observar que muitos desafios ainda persistem. A literatura aponta para a necessidade de estratégias mais eficazes e integradas para a segregação, o armazenamento e a destinação final dos resíduos gerados no ambiente universitário. No entanto, poucos estudos investigam de forma abrangente a implementação de práticas de gestão de resíduos sólidos nas instituições de ensino superior.

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar a gestão de resíduos sólidos em uma universidade no estado do Paraná, identificando falhas nos processos atuais e propondo soluções voltadas ao aprimoramento da sustentabilidade ambiental e da eficiência do gerenciamento de resíduos. A pesquisa insere-se no campo da Engenharia de Produção, com ênfase na área de Sustentabilidade.

A metodologia consiste em uma abordagem qualitativa, orientada à compreensão e avaliação dos processos envolvidos na gestão de resíduos sólidos, permitindo a identificação de fragilidades e a proposição de melhorias ao longo do sistema analisado. Nesse sentido, o estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento relacionado à gestão sustentável em instituições de ensino superior, ao mesmo tempo em que propõe recomendações passíveis de aplicação em contextos semelhantes.

Espera-se que os resultados subsidiem a tomada de decisão no âmbito da gestão ambiental universitária, fortalecendo práticas alinhadas aos princípios da sustentabilidade e promovendo o engajamento da comunidade acadêmica na adoção de procedimentos mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A trajetória normativa relacionada à gestão de resíduos sólidos no Brasil revela avanços graduais e marcados por desigualdades sociais e regionais. Durante o período colonial e boa parte da formação urbana brasileira, a coleta de resíduos era limitada, improvisada e conduzida por agentes privados, sendo o lixo percebido apenas como um problema de ordem urbana, sem qualquer enfoque sanitário ou ambiental. Somente a partir da criação do SISNAMA e da promulgação da Lei nº 6.938/1981 iniciou-se a consolidação de um marco legal mais estruturado. Ainda assim, a prática de destinar resíduos a lixões permaneceu difundida, mesmo diante do aumento da preocupação ambiental observado na década de 1990, quando o papel dos catadores passou a ganhar maior reconhecimento. Esse percurso histórico culminou, em 2010, na instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (MATOS, 2025).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, tem por objetivo estabelecer diretrizes para a gestão e gerenciamento dos resíduos no Brasil. Essa legislação busca promover a sustentabilidade e responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, incentivando a redução, reutilização e tratamento adequado desses resíduos. De acordo com a PNRS, a gestão de resíduos sólidos deve ser realizada de forma integrada, buscando minimizar os impactos ambientais e promover a inclusão social (BRASIL, 2010).

Conforme De Sousa Alves et al. (2021), a responsabilidade compartilhada busca diminuir significativamente o volume de resíduos e rejeitos gerados por meio da otimização dos processos associados ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a produção até o uso e o descarte. Essa meta pode ser atingida pela racionalização do uso de recursos, com o emprego de tecnologia mais eficientes e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, contribuindo assim para a redução do desperdício dos materiais.

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) enfrenta desafios distintos conforme a região, devido às realidades e particularidades locais de cada área do Brasil (Martins et al., 2022). Nas grandes metrópoles, onde a população é mais densa e o crescimento urbano é expressivo, essas dificuldades tornam-se ainda mais evidentes. Nesses contextos, a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados é maior, há uma escassez de espaços adequados para a disposição final e um índice elevado de descarte inadequado, problemas que frequentemente estão relacionados a ocupações irregulares e ao planejamento urbano

deficiente. Essas questões são mais comuns em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde as cidades nem sempre são projetadas para lidar com o crescimento populacional (Maiello et al., 2018; Nanda & Berruti, 2021; Martins et al., 2022).

A PNRS também introduz instrumentos importantes como o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS), que é obrigatório para diversos setores. Esse plano permite o mapeamento e controle dos resíduos desde a geração até a ambientação final ambientalmente adequada.

2.2. EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Em 27 de abril de 1999, o Brasil instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental (PNMA) por meio da Lei Federal nº 9.795/99. Essa legislação tornou a Educação Ambiental (EA) obrigatória, exigindo que sua promoção e incorporação fossem feitas tanto em nível governamental quanto em todos os sistemas e modalidades de ensino (BRASIL, 1999).

A educação ambiental envolve o reconhecimento de valores e a elucidação de conceitos, com o intuito de aprimorar competências e transformar comportamentos em relação ao ambiente. Esse processo busca fazer com que as pessoas compreendam e valorizem as conexões existentes entre os seres humanos, suas diferentes culturas e os componentes naturais, além de estar fundamentado em práticas éticas que promovem a melhoria da qualidade de vida (GUARIM, 2002).

Segundo Gelsleichter et al. (2012), a educação ambiental compreende um conjunto de processos nos quais tanto o indivíduo quanto a coletividade desenvolvem valores sociais, ampliam conhecimentos, aprimoram habilidades, adotam atitudes e constroem competências voltadas à preservação do meio ambiente.

Para Ardoin, Bowers e Gaillard (2020), a educação ambiental transcende a simples transmissão de conhecimento, envolvendo também dimensões emocionais, culturais e sociais que influenciam o comportamento humano em relação ao meio ambiente.

Segundo Freitas, Aguiar e Castro (2019), a educação ambiental deve ser compreendida como um processo permanente e integrado, cuja natureza interdisciplinar envolve diferentes dimensões da vida social, incluindo aspectos culturais, éticos, econômicos, políticos e ecológicos. Para os autores, esse tipo de educação possibilita que indivíduos — e, de forma ampliada, a coletividade — desenvolvam bases para uma atuação mais consciente e responsável.

2.3. RESÍDUOS SÓLIDOS NAS UNIVERSIDADES

A gestão de resíduos sólidos tem se tornado um dos principais desafios da sustentabilidade urbana e institucional, sendo particularmente relevante em ambientes de grande circulação e produção de resíduos, como as Instituições de Ensino Superior (IES). De acordo com Tauchen e Brandli (2006, p. 505), essas organizações de ensino podem ser comparadas a pequenos núcleos urbanos, pois concentram diversas atividades operacionais, como restaurantes, setores administrativos, além de laboratórios voltados ao ensino e pesquisa.

A melhoria das condições dentro das instituições de ensino, junto ao fortalecimento de seu compromisso com a responsabilidade socioambiental, tem efeitos importantes tanto internamente quanto na formação de seus estudantes. A implementação de práticas mais conscientes ambientalmente não só melhora a infraestrutura das universidades, como também promove uma conscientização ecológica entre os alunos, enriquecendo sua trajetória acadêmica (Barros et al., 2020). Esse efeito secundário adquire uma relevância ainda maior quando consideramos a contribuição das universidades na formação de profissionais e líderes do futuro, que estarão diante de desafios que exigem soluções mais sustentáveis e que terão um papel importante na promoção de uma maior sensibilização ambiental em diferentes áreas da sociedade (Henchel et al., 2019; Moreira et al., 2018; Pardal et al., 2020).

As universidades possuem uma posição privilegiada para adotar práticas sustentáveis, devido à presença de uma comunidade acadêmica capaz de fomentar inovações e realizar pesquisas de ponta (Pardal et al., 2020). Esse ambiente permite que se apliquem métodos científicos avançados e comprovados, otimizando ações que favoreçam a sustentabilidade ambiental de maneira eficaz (Barros et al., 2020, p. 842).

Segundo Machado et al. (2013), as instituições de ensino superior ocupam uma posição importante em relação às questões ambientais, ao mesmo tempo em que consomem recursos naturais, também possuem o dever e o potencial de adotar a sustentabilidade como princípio orientador em suas diretrizes administrativas e operacionais.

Conforme Calder e Clugston (2003), um campus universitário sustentável é aquele que capacita os estudantes a compreender a degradação ambiental, incentivando-os a adotar práticas ambientalmente responsáveis e, ao mesmo tempo, a se sensibilizarem para as injustiças sociais. Em outras palavras, as universidades devem atuar como exemplo para a sociedade civil e, ao implementarem planos de gestão de resíduos sólidos, contribuem não apenas para a preservação ambiental no próprio campus, mas também para a comunidade em geral. Um exemplo disso

são as instituições que priorizam a proteção dos recursos naturais e a destinação adequada dos resíduos gerados por suas atividades.

Segundo Mesquita, Fiuza e Sartori (2011), os resíduos mais comuns encontrados nos campi universitários são os resíduos orgânicos, recicláveis (papel, plástico, vidro e metal) e resíduos químicos provenientes de laboratórios. O manejo desses resíduos deve seguir protocolos específicos: os resíduos orgânicos geralmente são destinados à compostagem ou aterros sanitários, enquanto os recicláveis são coletados seletivamente para encaminhamento a cooperativas de reciclagem. Quanto aos resíduos químicos, esses requerem um gerenciamento especializado, conforme a norma ABNT NBR 10004, devido ao seu potencial impacto ambiental e à necessidade de descarte controlado.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente estudo adotou uma abordagem qualitativa exploratória, visando analisar a gestão de resíduos sólidos em uma universidade localizada no estado do Paraná. A escolha por uma abordagem qualitativa justifica-se pela necessidade de entender os processos, desafios e práticas adotadas pela universidade na gestão de resíduos, bem como a percepção dos envolvidos, o que acaba permitindo uma análise mais profunda das questões ambientais e administrativas relacionadas. A Figura 1, apresenta a localização da universidade.

Figura 1 - Localização da universidade



Atualmente, o campus conta com 125 docentes, sendo 94 efetivos e 31 contratados administrativos (PSS). Na área administrativa, atuam 42 colaboradores, distribuídos entre 38 efetivos e 4 contratados administrativos e cargos comissionados. Os agentes administrativos desempenham suas funções tanto no prédio administrativo quanto no campus. No prédio administrativo há servidores em atividade das 08h às 18h, enquanto no campus há servidores em atividade das 06h30 às 22h00, conforme as demandas de cada setor.

3.1. COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de observação direta em diferentes ambientes da universidade, tais como salas de aula, setores administrativos, cantinas e áreas de circulação. Durante esse processo, foram observadas as práticas de descarte dos resíduos sólidos, a forma de utilização das lixeiras, o nível de segregação entre resíduos recicláveis e orgânicos, bem como a adequação da sinalização existente nos pontos de descarte. Também foram analisados o comportamento da comunidade acadêmica diante do descarte dos resíduos, a frequência de erros na separação e as rotinas de coleta e acondicionamento realizadas pelos colaboradores do setor de limpeza. A observação é um instrumento importante na pesquisa qualitativa, pois permite captar comportamentos, rotinas e práticas no ambiente natural dos fatos (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Complementarmente, foram realizadas entrevistas informais com cinco colaboradores do setor de limpeza da universidade (APÊNDICE A), setor este composto por aproximadamente oito funcionários responsáveis pelas atividades de higienização e manejo dos resíduos sólidos no campus. Os participantes da pesquisa são funcionários terceirizados, vinculados à empresa prestadora de serviços contratada pela instituição, e atuam diretamente nas rotinas de coleta, segregação e acondicionamento dos resíduos gerados nos diferentes ambientes universitários.

Os entrevistados possuem tempo de atuação na função variando entre 2 e 5 anos, o que lhes confere experiência suficiente para relatar, de forma consistente, as práticas adotadas e as dificuldades enfrentadas no cotidiano da gestão de resíduos sólidos. As entrevistas seguiram um roteiro semiestruturado, com perguntas abertas, conforme apresentado no Quadro 1. A

elaboração do roteiro foi fundamentada na revisão da literatura sobre gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior, nas diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e nos objetivos definidos para a presente pesquisa. As questões foram estruturadas de modo a possibilitar a identificação dos procedimentos adotados na segregação, acondicionamento e destinação dos resíduos sólidos, bem como a compreensão das principais dificuldades enfrentadas na rotina da gestão ambiental, a partir da experiência prática dos colaboradores do setor de limpeza.

O número de cinco participantes mostrou-se suficiente, uma vez que a saturação das informações ocorreu de forma recorrente, não sendo identificados novos elementos relevantes a partir das falas coletadas. De acordo com Triviños (2008), a entrevista semiestruturada é adequada quando se busca obter dados mais ricos e detalhados a partir da experiência direta dos sujeitos envolvidos.

Quadro 1 - Roteiro semiestruturado de perguntas abertas

Tema	Perguntas
Conhecimento e Percepção Geral	<p>Você poderia descrever, na sua visão, como funciona o processo da gestão de resíduos sólidos aqui na universidade?</p> <p>Quais são, na sua visão, os principais tipos de resíduos gerados neste ambiente?</p> <p>Você considera que a comunidade acadêmica está bem informada sobre a importância da gestão correta dos resíduos?</p>
Práticas e Procedimentos	<p>Quais são os principais desafios enfrentados na coleta e armazenamento dos resíduos sólidos na universidade?</p> <p>Você percebe que a infraestrutura disponível (como lixeiras, sinalização, locais de armazenamento) é adequada para a gestão dos resíduos?</p>
Normas, Treinamentos e Conscientização	<p>A universidade oferece alguma orientação ou treinamento para os funcionários e alunos sobre a gestão de resíduos?</p> <p>Quais ações de conscientização ambiental você acredita que poderiam ser</p>

	implementadas ou aprimoradas aqui?
Resultados e Melhorias	Você acredita que existe engajamento da comunidade acadêmica (alunos, professores, funcionários) nas práticas de gestão de resíduos? Como isso poderia ser estimulado?

Fonte: Elaboração Própria (2025)

Após a aplicação do roteiro semiestruturado, as entrevistas foram conduzidas de forma individual, em momentos distintos da rotina de trabalho dos colaboradores, respeitando a disponibilidade dos participantes. As respostas foram registradas por meio de anotações e, posteriormente, organizadas para fins de análise. O conteúdo obtido a partir das entrevistas foi integrado aos dados provenientes da observação direta, possibilitando uma visão mais abrangente das práticas e percepções relacionadas à gestão de resíduos sólidos na universidade.

3.2. ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo, adotando as etapas clássicas propostas por Bardin (2011), adaptadas ao contexto da pesquisa qualitativa sobre a gestão de resíduos sólidos na universidade. Os dados analisados foram provenientes de duas fontes principais: observações diretas realizadas nos ambientes universitários e entrevistas informais com colaboradores do setor de limpeza, as quais foram tratadas de forma integrada e complementar.

A observação direta ocorreu ao longo de um período de aproximadamente cinco dias, totalizando cerca de 20 horas de observação, distribuídas em diferentes dias e turnos, o que possibilitou captar variações nas rotinas de descarte e coleta dos resíduos. As informações obtidas por meio da observação foram registradas em anotações de campo e utilizadas tanto para subsidiar a construção do roteiro de entrevistas quanto para complementar e validar as falas dos entrevistados.

Inicialmente, na fase de pré-análise, os dados coletados — provenientes de observações e entrevistas informais — foram organizados e lidos cuidadosamente, visando a familiarização com o material e a delimitação das unidades de registro que serão analisadas, como trechos de entrevistas e anotações relevantes.

Em seguida, ocorreu o processo de codificação, no qual os trechos selecionados foram rotulados com códigos que representam conceitos ou temas recorrentes, como “segregação de

resíduos”, “infraestrutura adequada” e “educação ambiental”. Esses códigos facilitaram a organização das informações.

Posteriormente, os códigos similares ou relacionados foram agrupados em categorias temáticas que representam os principais aspectos observados na gestão dos resíduos sólidos da universidade. Essa categorização permitiu estruturar o material de forma coerente e focada nos objetivos da pesquisa.

Na etapa de abstração, os dados agrupados nas categorias foram interpretados a partir da comparação entre o que foi observado no cotidiano da universidade e as falas dos colaboradores entrevistados. Esse procedimento permitiu identificar padrões de comportamento, semelhanças e diferenças entre as práticas de descarte e as percepções dos envolvidos no processo de gestão de resíduos.

A interpretação ocorreu por meio da relação entre os achados empíricos e a legislação vigente, bem como com a literatura científica sobre gestão de resíduos sólidos e educação ambiental. Dessa forma, foi possível compreender os principais problemas, lacunas e práticas positivas existentes no sistema de gestão de resíduos da universidade, em consonância com os objetivos do estudo.

Por fim, os resultados da análise foram apresentados de forma descritiva e interpretativa, apoiados em tabelas e resumos, evidenciando os principais achados e fundamentando as recomendações para o aprimoramento da gestão de resíduos sólidos na universidade, visando maior sustentabilidade e eficiência no processo.

3.3. PLANO DE AÇÃO

Para a proposição de melhorias na gestão de resíduos sólidos da universidade, foi elaborado um plano de ação de caráter aplicado, fundamentado nos dados coletados ao longo da pesquisa. A construção do plano foi realizada pelo próprio pesquisador, a partir do diagnóstico obtido por meio da observação direta e das entrevistas, visando transformar os resultados da pesquisa em ações práticas e passíveis de implementação no contexto institucional.

Para a estruturação do plano de ação, utilizou-se a ferramenta 5W1H, uma metodologia amplamente empregada em estudos aplicados por permitir a organização objetiva das ações a partir das perguntas: What? (O que será feito?), Why? (Por quê?), Where? (Onde?), When?

(Quando?), Who? (Quem?) e How? (Como?). A utilização dessa ferramenta possibilitou definir de forma clara as atividades propostas, os responsáveis, os prazos e os locais de execução, garantindo a viabilidade operacional das ações sugeridas.

O plano de ação contemplou propostas voltadas ao aprimoramento das práticas de separação e reciclagem de resíduos, bem como ações educativas direcionadas à conscientização e ao engajamento da comunidade acadêmica. As medidas propostas foram pensadas de modo a serem compatíveis com a realidade da universidade, utilizando a infraestrutura existente e podendo ser incorporadas às rotinas institucionais, o que reforça o caráter prático e aplicável do estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE CONTEÚDO

Na análise dos dados coletados a partir das entrevistas realizadas com os colaboradores do setor de limpeza, foi possível identificar pontos relevantes sobre a forma como a gestão de resíduos ocorre na instituição. Para permitir uma interpretação estruturada, os relatos foram analisados individualmente e tiveram seus trechos mais significativos destacados. Esses trechos foram codificados de acordo com temas recorrentes presentes nas falas, relacionados às práticas de segregação, descarte, infraestrutura, conscientização ambiental e treinamentos institucionais.

A codificação foi realizada de maneira manual, a partir da leitura atenta das entrevistas, agrupando falas com significados semelhantes sob um mesmo código. Os códigos resultantes, apresentados no Quadro 2, evidenciam tanto práticas recorrentes quanto percepções dos colaboradores sobre o descarte de resíduos no campus.

Quadro 2 - Códigos identificados na análise de conteúdo

Código	Descrição	Trecho dos entrevistados
C1 - Falta de segregação	A segregação de resíduos não é feita de forma correta.	“A gente não costuma separar o lixo”

C2 - Comportamento Inadequado	Descarte incorreto e falta de cuidado.	“Eles jogam onde é mais fácil”
C3 - Tipos de resíduos gerados	Materiais encontrados diariamente.	“Papel, plástico, alumínio”
C4 - Falta de conscientização	Falta de conhecimento sobre descarte.	“A maioria não tem noção”
C5 - Descarte inadequado	A mistura dos resíduos dificulta o trabalho.	“Quando vem misturado, atrapalha muito”
C6 - Infraestrutura adequada	Lixeiras e sinalizações suficientes.	“É bem sinalizado”
C7 - Falta de treinamento institucional	Ausência de capacitação.	“Nunca tivemos treinamento”
C8 - Sugestão de melhorias	Propostas dos colaboradores/universidade.	“Palestras, campanhas”
C9 - Baixo engajamento da comunidade	Pouca participação de alunos.	“Vejo pouca participação”

Fonte: Elaboração Própria (2025)

A fim de resumir os conteúdos presentes nos códigos, foram agrupados trechos que apresentavam sentido semelhante, assim formando conjuntos de significados que apontam situações específicas da realidade observada. O Quadro 3 apresenta esses agrupamentos e resume como os diferentes aspectos mencionados pelos colaboradores se relacionam.

Quadro 3 - Agrupamento temático da análise de conteúdo

Conjunto temático	Descrição	Códigos associados
Fragilidades na segregação e descarte	Envolve problemas na separação, descarte incorreto e mistura de resíduos recicláveis e orgânicos.	C1, C2 e C5

Conscientização ambiental insuficiente	Relaciona-se ao desconhecimento, despreocupação e falta de engajamento da comunidade acadêmica.	C2, C4 e C9
Infraestrutura adequada, mas subutilizada	Avalia a presença de lixeiras, sinalização e espaços adequados para armazenamento.	C6
Ausência de treinamentos institucionais	Falta de capacitação e ausência de políticas de educação ambiental dentro da universidade.	C7
Sugestões de melhoria e engajamento	Propostas apresentadas pelos entrevistados para aprimorar a gestão.	C8

Fonte: Elaboração Própria (2025)

Com base na análise dos códigos e dos agrupamentos temáticos, foi possível identificar fragilidades que comprometem a gestão de resíduos na universidade, destacando-se, de forma recorrente, a ausência de segregação adequada. Os relatos dos colaboradores indicam que os resíduos são frequentemente descartados de maneira indiscriminada, resultando na mistura entre resíduos orgânicos e recicláveis. Esse problema decorre, principalmente, da falta de orientação sistemática à comunidade acadêmica e da ausência de estímulos contínuos que favoreçam a consolidação de hábitos adequados de descarte.

Como consequência, a mistura dos resíduos compromete a eficiência do sistema de gestão, dificulta o trabalho dos colaboradores do setor de limpeza e reduz o potencial de reaproveitamento dos materiais recicláveis, além de gerar retrabalho e aumentar os custos operacionais. Esse cenário reforça o que Jacobi e Besen (2011) apontam ao destacar que a ausência de práticas cotidianas de separação é um dos principais entraves à efetividade dos sistemas de gestão de resíduos sólidos.

O descarte incorreto também está associado ao comportamento negligente de parte da comunidade acadêmica, observado tanto nas entrevistas quanto na observação direta. Segundo Steg e Vlek (2009), práticas ambientais inadequadas tendem a persistir quando não há estímulos consistentes que favoreçam a internalização de comportamentos sustentáveis no cotidiano. Assim, o descarte incorreto, associado à negligência de parte da comunidade acadêmica, manifesta-se como um padrão recorrente no ambiente universitário, podendo gerar riscos ambientais dentro e fora do campus. Como consequência, esse padrão comportamental tende a se perpetuar, aumentando os riscos ambientais dentro e fora do campus, como a contaminação de resíduos recicláveis e o descarte inadequado em áreas comuns.

As falas dos colaboradores revelam ainda que, mesmo diante da disponibilidade de infraestrutura adequada — como lixeiras identificadas e sinalização — o uso incorreto prevalece. Isso indica que o problema não está na ausência de recursos materiais, mas na forma como eles são utilizados. Segundo Gifford (2014), a oferta de infraestrutura, quando não acompanhada de ações educativas e estímulos sociais, apresenta impacto limitado sobre o comportamento ambiental. Como consequência, a universidade não consegue alcançar os resultados esperados em termos de eficiência e sustentabilidade, apesar dos investimentos realizados.

Outro fator determinante identificado é a ausência de treinamentos e orientações institucionais. A falta de capacitação impede que os colaboradores atuem como agentes multiplicadores de boas práticas e dificulta a formação de uma cultura ambiental compartilhada. Como resultado, mantém-se um ciclo de práticas inadequadas, baixa conscientização e pouca adesão às ações existentes. Oliveira et al. (2021) destacam que processos educativos contínuos são fundamentais para a construção de uma cultura de segurança e sustentabilidade, especialmente em ambientes institucionais complexos.

Apesar das fragilidades identificadas, os entrevistados apresentaram sugestões de melhorias, como campanhas educativas e palestras, o que evidencia uma percepção interna sobre possíveis caminhos para a qualificação do processo. Essas propostas apontam para a necessidade de intervenções que atuem diretamente nas causas comportamentais dos problemas observados, conforme defendem Laurindo e de Miranda (2024), ao ressaltarem que programas contínuos de educação ambiental são essenciais para promover mudanças comportamentais duradouras, sobretudo em ambientes universitários.

4.2 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

Com base na observação direta e na análise de conteúdo das entrevistas, foram priorizadas algumas situações consideradas essenciais para o aprimoramento da gestão de resíduos na universidade. A definição das prioridades ocorreu a partir de três critérios principais: frequência de ocorrência, impacto no funcionamento do sistema de gestão de resíduos e potencial de risco ambiental associado.

Dessa forma, foram selecionadas como prioritárias: (i) a ausência de segregação adequada, por se tratar do problema mais recorrente tanto nas falas dos colaboradores quanto nas práticas observadas; (ii) o descarte incorreto e o comportamento negligente, devido à sua influência direta na contaminação dos resíduos recicláveis e no aumento do retrabalho operacional; (iii) a falta de conscientização ambiental da comunidade acadêmica, identificada como uma causa central dos problemas comportamentais observados; e (iv) a ausência de treinamentos institucionais, por comprometer a padronização das rotinas e a formação de uma cultura ambiental no campus.

Essas fragilidades apresentam impactos diretos no funcionamento do sistema de gestão de resíduos, dificultando as rotinas operacionais e ampliando os riscos ambientais, o que evidencia a necessidade de ações imediatas. A partir dessas prioridades, foi utilizada a ferramenta 5W1H para a elaboração do plano de ação, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Plano de ação 5W1H

Prioridade	What (O que será feito?)	Why (Por que será feito?)	Where (Onde?)	When (Quando?)	Who (Quem?)	How (Como?)
Ausência de segregação adequada dos resíduos.	Implantação de um protocolo padronizado de separação de resíduos.	Garantir a separação correta entre o reciclável e orgânico, alinhando a práticas sustentáveis.	Setores administrativos, sala de aulas, cantina, pátio, entre outros.	12/04/2026	Comissão permanente de gestão e educação ambiental (CPGEA) e setor de limpeza.	Utilizar os coletores de forma adequada e padronizada.

Descarte incorreto e comportamento negligente.	Ação educativa direcionada ao uso correto dos pontos de descarte.	Reduzir o descarte inadequado e melhorar a eficiência da gestão de resíduos.	Corredores, laboratório, informática, entre outros.	20/04/2026	Comissão permanente de gestão e educação ambiental (CPGEA).	Fixação de cartazes, orientações e intervenções educativas.
Baixa conscientização ambiental da comunidade acadêmica.	Campanha institucional de sensibilização ambiental	Ampliar o engajamento da comunidade e promover mudança.	Toda a universidade e canais institucionais.	15/06/2026	Setor de extensão.	Produção de materiais educativos, rodas de conversa e divulgação em mídias.
Ausência de treinamentos institucionais.	Implementação de um programa sobre manejo de resíduos.	Melhorar o conhecimento dos colaboradores e orientar os estudantes.	Auditório principal.	10/05/2026	Comissão permanente de gestão e educação ambiental (CPGEA).	Oficinas, palestras e encontros periódicos.

Fonte: Elaboração Própria (2025)

Com a implementação das ações propostas, espera-se que a gestão de resíduos sólidos na universidade avance em organização, clareza operacional e adequação dos processos de segregação, em consonância com os princípios estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A padronização das rotinas de separação na fonte, aliada às ações educativas previstas, atende diretamente às diretrizes da PNRS, que priorizam a segregação adequada como etapa fundamental para a destinação ambientalmente correta dos resíduos (BRASIL, 2010).

As ações voltadas à orientação e conscientização da comunidade acadêmica apresentam potencial para ampliar o entendimento sobre a separação correta dos resíduos, promovendo a participação dos gestores no processo de gestão. Esse aspecto está alinhado ao princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, previsto na PNRS, que atribui aos usuários um papel ativo no manejo adequado dos resíduos sólidos.

As medidas propostas também contribuem para a redução dos riscos associados às práticas inadequadas de descarte, favorecendo um ambiente mais seguro e saudável, em conformidade com os objetivos da PNRS de prevenção e minimização dos impactos ambientais. A padronização das rotinas tende a otimizar o fluxo de trabalho e reduzir retrabalhos operacionais, fortalecendo a eficiência do gerenciamento interno dos resíduos, conforme recomendado pela política nacional.

Além disso, as ações estruturadas apresentam potencial de replicabilidade em outras universidades que enfrentam desafios semelhantes, reforçando a perspectiva de uma abordagem integrada da gestão ambiental. Essa possibilidade de adaptação do modelo dialoga com o caráter orientador da PNRS, que incentiva a adoção de práticas sustentáveis em diferentes contextos institucionais, contribuindo para o fortalecimento da responsabilidade socioambiental no âmbito do ensino superior.

5. CONCLUSÕES

Este estudo analisou a gestão de resíduos sólidos em uma instituição de ensino superior localizada no estado do Paraná, atendendo ao objetivo de identificar fragilidades nos processos de segregação, descarte, conscientização ambiental e manejo operacional. Para tanto, foram empregados procedimentos metodológicos de natureza qualitativa, como observação direta, entrevistas com colaboradores do setor de limpeza e análise de conteúdo, complementados pela elaboração de um plano de ação estruturado com a ferramenta 5W1H. A articulação desses instrumentos possibilitou compreender a dinâmica da gestão de resíduos no contexto institucional, bem como os fatores que interferem em sua efetividade.

Os resultados evidenciaram um cenário marcado por segregação inadequada na fonte, descarte impróprio dos resíduos, baixo engajamento da comunidade acadêmica e ausência de capacitações institucionais. Embora a universidade disponha de infraestrutura compatível com as exigências operacionais, constatou-se que sua utilização ocorre de forma limitada e, por vezes, incorreta. Tal constatação indica que as principais fragilidades do sistema estão relacionadas, sobretudo, à ausência de orientações formais, à fragilidade dos processos educativos e à falta de padronização das rotinas.

Dentre as limitações identificadas, a ausência de segregação adequada mostrou-se a mais crítica, uma vez que desencadeia impactos diretos sobre todo o sistema de gestão de resíduos. Essa fragilidade contribui para a contaminação de materiais recicláveis, aumenta o retrabalho dos colaboradores, compromete a eficiência operacional e potencializa riscos ambientais no ambiente universitário. Observou-se, ainda, que essa problemática está diretamente associada à baixa conscientização ambiental e à inexistência de treinamentos sistemáticos, evidenciando a interdependência entre os resultados obtidos.

A análise integrada dos dados permitiu compreender que os problemas observados não se manifestam de forma isolada, mas constituem um conjunto de fragilidades inter-relacionadas que afetam o desempenho global da gestão de resíduos sólidos na instituição. Nesse sentido, o plano de ação elaborado mostrou-se coerente com os achados da pesquisa, ao propor medidas voltadas à padronização das rotinas, à melhoria da segregação na fonte e ao fortalecimento das práticas educativas, em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Apesar de o estudo ter alcançado seus objetivos e proporcionado uma compreensão consistente da realidade analisada, algumas limitações devem ser consideradas. A ausência de um acompanhamento longitudinal impossibilita a avaliação do comportamento das ações propostas ao longo do tempo, bem como a identificação de ajustes decorrentes de sua implementação. Além disso, a abordagem predominantemente qualitativa não permitiu a mensuração quantitativa da geração de resíduos, restringindo comparações mais precisas entre períodos distintos.

Por fim, recomenda-se que investigações futuras ampliem o escopo de análise para outras instituições de ensino superior, bem como incorporem indicadores de desempenho que possibilitem o monitoramento contínuo da gestão de resíduos. A adoção de práticas sistemáticas de acompanhamento, associadas a ações permanentes de educação ambiental, tende a contribuir para o aprimoramento das rotinas institucionais e para o fortalecimento da gestão ambiental no contexto universitário.

REFERÊNCIAS

- ABNT, N. (2004). 10004: Resíduos sólidos—classificação. Rio de Janeiro, 9-11.
- Bardin, L. (2011). Análise de conteúdo 4ªed. Lisboa: Edições, 70(1977), 99-120.

- Barros, M. V., Puglieri, F. N., Tesser, D. P., Kuczynski, O., & Piekarski, C. M. (2020). Sustainability at a Brazilian university: developing environmentally sustainable practices and a life cycle assessment case study. *International journal of sustainability in higher education*, 21(5), 841-859.
- BRASIL, L. (2010). 12.305, de 2 de agosto de 2.010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República.
- Calder, W., & Clugston, R. M. (2003). International efforts to promote higher education for sustainable development. *Planning for higher education*, 31(3), 30-44.
- De Benedicto, S. C., Santos, R. M., da Silva, E. C., & Sugahara, C. R. (2023). Desafios das políticas públicas dos municípios brasileiros em relação à destinação dos resíduos sólidos frente ao objetivo de desenvolvimento sustentável número 6. *Journal of Urban Technology and Sustainability*, 6(1), e52-e52.
- De Matos, V. C. (2025). Política Nacional de Resíduos Sólidos: Uma abordagem crítico/reflexiva. *Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica*, 4(22).
- De Oliveira, D. B., Becker, R. W., Sirtori, C., & Passos, C. G. (2021). Development of environmental education concepts concerning chemical waste management and treatment: the training experience of undergraduate students. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 653-661.
- De Sousa Alves, L. G., Noletto, A. R. A., da Silva, E. A., & Pinheiro, H. D. (2021). Responsabilidade compartilhada de resíduos sólidos: reflexões da implementação no município de Teresina-PI. *Revista Gestão e Desenvolvimento*, 18(2), 3-25.
- Freitas, A. S., Aguiar, D. R. C., & Castro, C. V. (2019). A Educação Ambiental nos curso técnicos integrados ao ensino médio do campus Penedo-IFAL: análise dos livros didáticos de língua portuguesa e a construção de cartilha ambiental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 14(2), 306-327.
- Gelsleichter, M., & Slonski, G. T. (2012). A Educação Ambiental nos Cursos do Proeja do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Florianópolis-Continente. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, 17(2), 39-52.
- Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual review of psychology*, 65(1), 541-579.
- Henchen, A. V., Moura-Leite, R., & Lopes, J. C. J. (2019). Sustentabilidade e gestão de Instituições de Ensino Superior: análise da produção científica. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 8(1), 38-60.
- Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (2011). Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, 25, 135-158.
- Juliatto, D. L., Calvo, M. J., & Cardoso, T. E. (2011). Gestão integrada de resíduos sólidos para instituições públicas de ensino superior. *Revista Gestão Universitária na América Latina-GUAL*, 4(3), 170-193.
- Laurindo, N. D. S., De Miranda, J. C., & de Miranda, M. G. (2024). GESTÃO DOS RESIDUOS SÓLIDOS E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. *Revista da Seção Judiciária do Rio de Janeiro*, 28(62), 110-129.
- Machado, R. E., Fracasso, E. M., Tometich, P., & Nascimento, L. F. (2013). Práticas de gestão ambiental em universidades brasileiras. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 7(3), 37-51.

- Maiello, A., Britto, A. L. N. D. P., & Valle, T. F. (2018). Implementation of the Brazilian national policy for waste management. *Revista de Administração Pública*, 52, 24-51.
- Martins, I. M., de Carvalho Júnior, F. H., & Júnior, A. D. C. G. (2022). Averiguação e analogia das ferramentas constantes nas políticas estaduais e nacional dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 701-713.
- Menezes, I. M., & Mol, M. P. G. Gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior brasileiras: Desafios e propostas para adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1397-1412.
- Mesquita, E. G., Fiuza, M. S. S., & Sartori, H. J. F. (2011). Gerenciamento de resíduos sólidos: estudo de caso em campus universitário. *CONSTRUINDO*.
- Moreira, R., Malheiros, T. F., Alfaro, J. F., Cetrulo, T. B., & Ávila, L. V. (2018). Solid waste management index for Brazilian higher education institutions. *Waste Management*, 80, 292-298.
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433-1456.
- Pardal, A., Romeira, T., & Durão, A. (2020). Eco green campus: Challenges and opportunities. The study case of Polytechnic Institute of Beja. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 171, p. 01010). EDP Sciences.
- Simião, J. (2011). Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Steg, L., & Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, 29(3), 309-317.
- Tavares, E. E. A. S. (2020). Gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior: um estudo de caso na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE/Campus Recife) (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- Tauchen, J., & Brandli, L. L. (2006). A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão & Produção*, 13, 503-515.
- Tenório, J. A. S., & Espinosa, D. C. R. (2004). Controle ambiental de resíduos. Curso de gestão ambiental.
- Triviños, A. N. S. (2008). Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em Educação. São Paulo: Atlas, 2010. UFRGS. Cadastro de crianças, adolescentes e adultos em situação de rua e estudo do mundo da população adulta em situação de rua de Porto Alegre/RS. Porto Alegre.

APÊNDICE A — RESPOSTAS DAS ENTREVISTAS REALIZADAS COM OS COLABORADORES DO SETOR DE LIMPEZA

Entrevistado 01:

Você poderia descrever, na sua visão, como funciona o processo da gestão de resíduos sólidos aqui na universidade?

“Geralmente a gente não costuma separar o lixo, colocamos tudo dentro de um saco. Até mesmo os alunos não fazem isso, mesmo a gente tendo sacos diferentes nos lixos e cartões para mostrar onde cada lixo deve ser descartado, mas é difícil eles fazerem isso também.”

Quais são, na sua visão, os principais tipos de resíduos gerados neste ambiente?

“Os lixos gerados costumam ser plástico, alumínio, papel, papelão, vidro, mas o mais gerado mesmo é o papel.”

Você considera que a comunidade acadêmica está bem informada sobre a importância da gestão correta dos resíduos?

“Acredito que não, visto que a maioria dos alunos não tem preocupação nenhuma quanto a isso, é possível observar com frequência lixos espalhados em qualquer lugar, como casca de banana, bala, pirulito.”

Quais são os principais desafios enfrentados na coleta e armazenamento dos resíduos sólidos na universidade?

“A gente não tem muita dificuldade para coletar e armazenar os lixos, geralmente quando tem bastante, pedimos a ajuda de mais pessoas para carregar e também tomamos cuidados quando vamos manusear vidro.”

Você percebe que a infraestrutura disponível (como lixeiras, sinalização, locais de armazenamento) é adequada para a gestão dos resíduos?

“Em relação a isso é bem sinalizado, tem bastante lixeiras e informações onde cada lixo deve ser descartado, mesmo assim os alunos não tem preocupação quanto a isso.”

A universidade oferece alguma orientação ou treinamento para os funcionários e alunos sobre a gestão de resíduos?

“Não, a gente não tem nenhuma orientação ou treinamento quanto a isso, a gente só faz o nosso trabalho e fica por isso mesmo.”

Quais ações de conscientização ambiental você acredita que poderiam ser implementadas ou aprimoradas aqui?

“Acredito que possam ser feitas algumas palestras de forma a visar conscientizar os alunos quanto a importação do descarte correto desses lixos, assim facilitaria o nosso trabalho também.”

Você acredita que existe engajamento da comunidade acadêmica (alunos, professores, funcionários) nas práticas de gestão de resíduos? Como isso poderia ser estimulado?

“O engajamento é baixo. Poucas pessoas se preocupam, mas a maioria só descarta o lixo sem pensar muito. Isso poderia melhorar com mais comunicação e algumas atividades dentro da universidade mesmo.”

Entrevistado 02:

Você poderia descrever, na sua visão, como funciona o processo da gestão de resíduos sólidos aqui na universidade?

“Olha, a gente faz a coleta diária nas salas, banheiros e áreas externas, mas não tem muito essa questão de separação, nem os próprios alunos descartam corretamente. Depois a gente leva pra lixeira que fica ali na frente da universidade e de lá, o pessoal responsável pela coleta o caminhão de lixo pega e leva para o destino final.”

Quais são, na sua visão, os principais tipos de resíduos gerados neste ambiente?

“Os mais comuns são papel, plástico e alumínio, como garrafinhas e embalagens.”

Você considera que a comunidade acadêmica está bem informada sobre a importância da gestão correta dos resíduos?

“Sinceramente, acho que falta informação. Tem gente que sabe onde descartar corretamente, mas muita gente ainda mistura tudo”

Quais são os principais desafios enfrentados na coleta e armazenamento dos resíduos sólidos na universidade?

“O maior desafio é quando o lixo vem misturado. Isso atrapalha muito o nosso trabalho e prejudica a reciclagem. Outro problema é a falta de cuidado das pessoas, que deixam lixo espalhado.”

Você percebe que a infraestrutura disponível (como lixeiras, sinalização, locais de armazenamento) é adequada para a gestão dos resíduos?

“Em relação a isso não tem o que falar negativamente, é tudo muito bem organizado quanto a sinalização e tem várias lixeiras espalhadas pela universidade”

A universidade oferece alguma orientação ou treinamento para os funcionários e alunos sobre a gestão de resíduos?

“A gente não tem treinamento não, e quanto aos alunos eu também não enxergo a universidade fornecendo alguma orientação quanto a isso.”

Quais ações de conscientização ambiental você acredita que poderiam ser implementadas ou aprimoradas aqui?

“Poderia ter campanhas mais frequentes, com cartazes, vídeos e palestras onde estimulassem mais os alunos a fazerem o descarte correto dos lixos.”

Você acredita que existe engajamento da comunidade acadêmica (alunos, professores, funcionários) nas práticas de gestão de resíduos? Como isso poderia ser estimulado?

“Eu vejo pouca participação. Dá pra sentir que só uma parte pequena se preocupa de verdade. Acho que poderia melhorar se houvesse mais incentivo, comunicação s e mais ações de conscientização.”

Entrevistado 03:

Você poderia descrever, na sua visão, como funciona o processo da gestão de resíduos sólidos aqui na universidade?

“A gente vai passando pela universidade durante o dia e recolhe o que o pessoal vai jogando fora. Não tem muita separação não, o povo mistura tudo. Daí a gente só junta, coloca nos sacos e leva pra fora da universidade onde fica uma lixeira maior onde colocamos os sacos de lixo. Depois o caminhão da coleta vem e leva embora.”

Quais são, na sua visão, os principais tipos de resíduos gerados neste ambiente?

“O lixo que a gente mais vê por aí é papel, vidro, plástico, papelão, resto de comida, alumínio”

Você considera que a comunidade acadêmica está bem informada sobre a importância da gestão correta dos resíduos?

“Eu acho que a maioria não tem muita noção, não. Talvez uma ou outra pessoa se preocupe, mas, no geral, o pessoal joga onde é mais fácil.”

Quais são os principais desafios enfrentados na coleta e armazenamento dos resíduos sólidos na universidade?

“Quando o lixo vem tudo misturado, é complicado pra gente. Atrapalha o processo e faz com que coisas que poderiam ser recicladas acabem indo pro lixo comum.”

Você percebe que a infraestrutura disponível (como lixeiras, sinalização, locais de armazenamento) é adequada para a gestão dos resíduos?

“Olha, quanto a isso eu acho bem organizado. Tem lixeira por todo lado e a sinalização é boa, então estrutura não falta”

A universidade oferece alguma orientação ou treinamento para os funcionários e alunos sobre a gestão de resíduos?

“Pra gente, pelo menos, nunca teve treinamento específico sobre isso. E eu também não vejo a universidade incentivando e orientando os alunos a respeito do descarte correto desses lixos.”

Quais ações de conscientização ambiental você acredita que poderiam ser implementadas ou aprimoradas aqui?

“Seria bom ter campanhas mais constantes, mais material espalhado pela universidade, palestras, avisos, algo que lembrasse o pessoal da importância de descartar direito corretamente o lixo.”

Você acredita que existe engajamento da comunidade acadêmica (alunos, professores, funcionários) nas práticas de gestão de resíduos? Como isso poderia ser estimulado?

“Eu vejo que a maioria não se envolve muito. Talvez se tivesse mais cobrança ou atividades que envolvessem os estudantes, isso ajudaria. Algo que fizesse eles participarem, não só ler cartaz.”

PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO BASEADO EM MODELOS DE MACHINE LEARNING: APLICAÇÃO AO DIMENSIONAMENTO DA FORÇA DE TRABALHO EM UMA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

Gilberto Moroski Machado Junior (gmmjr03@gmail.com)

Gustavo de Souza Matias (gustavo.matias@unespar.edu.br)

Resumo: A variabilidade da demanda no setor de fertilizantes impõe desafios ao planejamento agregado da produção. O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma abordagem integrada entre modelos de previsão e otimização para apoiar o planejamento agregado da produção em uma indústria brasileira de fertilizantes, fundamentada no paradigma predict-and-optimize, no qual previsões de demanda são utilizadas diretamente como insumo para decisões operacionais. Utilizou-se a série mensal de produção de 2014 a 2025 e os modelos XGBoost, LSTM e MLP estruturados por janelas deslizantes. Após avaliação por métricas, construiu-se um ensemble ponderado pelo inverso do RMSE, obtendo previsões mais estáveis. Com base no intervalo de confiança de 95%, definiram-se três cenários: pessimista, base e otimista. As previsões alimentaram um modelo determinístico de planejamento agregado da produção que considera restrições reais da planta, sem estoques, horas extras ou expansão de capacidade, tornando a força de trabalho o principal mecanismo de ajuste. No cenário atual, com 26 operadores, o custo total é de R\$ 2.385.183,06; a aplicação do modelo indicou reduções de custo de 44,5% no cenário pessimista, 27,5% no cenário base e 10,0% no cenário otimista, em relação à situação atual. Os resultados evidenciam a alta sensibilidade das decisões de dimensionamento da força de trabalho às oscilações da demanda prevista, bem como o papel da subcontratação como mecanismo complementar para atender picos de produção. Como contribuição prática, o estudo fornece suporte quantitativo à gestão, auxiliando na redução de custos e no planejamento eficiente da força de trabalho em ambientes industriais sem estoques reguladores.

Palavras-chave: aprendizado de máquina, fertilizantes, otimização

**AGGREGATE PRODUCTION PLANNING BASED ON MACHINE LEARNING
MODELS: APPLICATION TO WORKFORCE SIZING IN A FERTILIZER
INDUSTRY.**

Abstract: The variability of demand in the fertilizer sector poses challenges to aggregate production planning. This study aims to develop an integrated approach between forecasting and optimization models to support aggregate production planning in a Brazilian fertilizer industry, based on the predict-and-optimize paradigm, in which demand forecasts are used directly as input for operational decisions. The monthly production series from 2014 to 2025 and the XGBoost, LSTM, and MLP models structured by sliding windows were used. After evaluation by metrics, an ensemble weighted by the inverse of the RMSE was constructed, obtaining more stable forecasts. Based on a 95% confidence interval, three scenarios were defined: pessimistic, base, and optimistic. The forecasts fed a deterministic Aggregate Production Planning model that considers real plant constraints, without inventories, overtime, or capacity expansion, making the workforce the main adjustment mechanism. In the current scenario, with 26 operators, the total cost is R\$ 2,385,183.06; the application of the model indicated cost reductions of 44.5% in the pessimistic scenario, 27.5% in the baseline scenario, and 10.0% in the optimistic scenario, compared to the current situation. The results highlight the high sensitivity of workforce sizing decisions to fluctuations in projected demand, as well as the role of subcontracting as a complementary mechanism to meet production peaks. As a practical contribution, the study provides quantitative support to management, assisting in cost reduction and efficient workforce planning in industrial environments without buffer stocks.

Keywords: machine learning, fertilizers, optimization

1. INTRODUÇÃO

É notável o crescimento do agronegócio tanto no Brasil quanto no mundo. Em 2024, a atividade agropecuária contribuiu com cerca de 23% do PIB brasileiro, segundo dados do Cepea/Esalq-USP em parceria com a CNA. O Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de alimentos, como soja e milho, e o aumento da demanda global por esses produtos exige planejamento eficaz dos recursos de produção, especialmente dos fertilizantes, insumos essenciais para garantir a produtividade agrícola (Maciel & Tunes, 2021).

Fertilizantes são substâncias minerais, orgânicas, naturais ou sintéticas que fornecem nutrientes essenciais ao plantio. Na indústria de fertilizantes, os macronutrientes primários nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) compõem a formulação NPK, amplamente utilizada para o crescimento vegetal e aumento da produtividade agrícola (Žinete, 2023). A demanda por esses insumos apresenta forte associação aos ciclos das culturas e aos períodos sazonais de plantio e colheita, resultando em variações significativas ao longo do ano (OECD

& FAO, 2020). Diante dessa sazonalidade, torna-se evidente a necessidade de métodos de planejamento capazes de lidar com oscilações na demanda; contudo, a literatura aponta desafios práticos na qualidade das previsões e, sobretudo, na forma como previsões avançadas baseadas em machine learning são integradas às decisões de otimização (Elmachtoub & Grigas, 2022).

Nesse contexto, a integração entre modelos preditivos e técnicas de otimização surge como uma abordagem promissora para apoiar decisões relacionadas à gestão da capacidade produtiva (Elmachtoub & Grigas, 2022). A utilização de previsões como entrada para modelos matemáticos permite aprimorar a alocação de recursos e reduzir custos associados à capacidade ociosa ou insuficiente, especialmente em operações sensíveis às flutuações da demanda. Essa perspectiva reforça a relevância de metodologias orientadas por dados (data-driven) em processos industriais sujeitos à sazonalidade e variações no volume de produção (Makridakis & Assimakopoulos, 2018). Nesse sentido, esta pesquisa insere-se nas áreas de Pesquisa Operacional e Engenharia de Operações e Processos da Produção, conforme classificação da ABEPRO.

O estudo foi conduzido em uma unidade responsável pela produção diária de fertilizantes; contudo, para fins de planejamento agregado (PAP), a capacidade produtiva e a demanda são analisadas em base mensal. A capacidade é limitada pelo número de operadores alocados por turnos de produção, de modo que erros de previsão impactam diretamente os custos de contratação, demissão e terceirização, uma vez que não há produção para estoque nem utilização de horas extras. Em ambientes industriais sem estoques reguladores, o planejamento da força de trabalho torna-se elemento central do desempenho operacional (Ernst et al., 2004), sendo que o dimensionamento inadequado resulta em ociosidade ou insuficiência de capacidade, ambos associados a perdas financeiras (Van den Bergh et al., 2013).

Avanços recentes em técnicas de machine learning têm ampliado significativamente as possibilidades de previsão em séries temporais industriais. Modelos baseados em árvores otimizadas, como o XGBoost, permitem capturar relações não lineares presentes em dados operacionais (Chen & Guestrin, 2016), enquanto arquiteturas recorrentes, como as redes LSTM, apresentam bom desempenho em séries que exibem múltiplos padrões temporais (Siami-Namini & Namin, 2018). De forma complementar, modelos MLP têm sido aplicados na previsão de séries com elevada variabilidade e estruturas não lineares (Goodfellow et al., 2016). Apesar desses avanços, observa-se, a partir da literatura analisada, uma menor incidência de estudos que integrem de maneira estruturada previsões baseadas em machine learning ao PAP

voltado ao dimensionamento da força de trabalho em ambientes industriais específicos, especialmente aqueles sem estoques reguladores e sem utilização de horas extras. Essa limitação torna-se mais evidente no setor de fertilizantes, que apresenta como características a alta sazonalidade, elevada sensibilidade operacional e dependência da força de trabalho como principal mecanismo de ajuste da capacidade produtiva (Ernst et al., 2004).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo desenvolver uma abordagem integrada que combine modelos modernos de previsão de demanda ao PAP, aplicada ao dimensionamento da força de trabalho em uma indústria de fertilizantes. Para atingir esse objetivo geral, estabelecem-se como objetivos específicos: realizar a análise inicial da série temporal, etapa fundamental para a compreensão de seus padrões estruturais (Hyndman & Athanasopoulos, 2018); avaliar o desempenho dos modelos MLP, LSTM e XGBoost na previsão mensal; desenvolver um modelo combinado por meio de ensemble com o propósito de aprimorar a acurácia das previsões (Makridakis & Assimakopoulos, 2018); utilizar as estimativas geradas como entrada do PAP para equilibrar demanda e capacidade em horizontes temporais (Stevenson, 2001); e examinar como diferentes cenários de demanda influenciam o dimensionamento ótimo da força de trabalho, evidenciando a

Como contribuição prática, o estudo propõe um método misto, capaz de apoiar decisões estratégicas em ambientes industriais em que a força de trabalho representa o principal nível de ajuste na capacidade produtiva (Ernst et al., 2004). A integração entre modelos preditivos e o PAP resulta em uma ferramenta que auxilia a alocação eficiente de operadores e a redução de custos associados à contratação, demissão e terceirização em períodos onde a demanda representa picos de sazonalidade (Cheraghalikhani et al., 2019). No âmbito acadêmico, a pesquisa aproxima campos usualmente tratados de maneira independente, reforçando a importância de abordagens quantitativas estruturadas e alinhadas às áreas de Pesquisa Operacional e Engenharia de Operações e Processos de Produção (Bertsimas & Kallus, 2020).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PANORAMA DO SETOR DE FERTILIZANTES

O uso de fertilizantes é fundamental para sustento da produtividade agrícola, fornecendo nutrientes essenciais para o plantio. Os macronutrientes N, P e K exercem papel fundamental para o crescimento vegetal, sendo a base das formulações industriais NPK (Reetz, 2017). Há evidências de que o fósforo e potássio dependem de reservas minerais concentradas em poucos países, o que torna a cadeia de suprimentos vulnerável a oscilações geopolíticas e

logísticas (Dias & Fernandes, 2006).

No mercado brasileiro, observa-se um crescimento consistente do volume de importações, demonstrando a insuficiência da produção nacional para atender a demanda interna, em 2022, o Brasil importou aproximadamente 34,61 milhões de toneladas de fertilizantes, tendo um aumento para 39,43 milhões em 2023 e alcançando 41,34 milhões em 2024, indicando um aumento de 4,8% em relação ao ano anterior (ANDA, 2025).

A principal rota logística dessas importações é pelo porto de Paranaguá, por onde entraram 10,34 milhões de toneladas, correspondendo a 25% do total importado pelo país em 2024, apresentando um crescimento de 9,2% em relação a 2023 consolidando o porto como um dos principais elos da cadeia logística de fertilizantes no Brasil (ANDA, 2025).

Quanto ao consumo interno, as entregas de fertilizantes ao mercado brasileiro totalizaram 45,61 milhões de toneladas em 2024, apresentando uma leve redução de 0,5% em relação a 2023, quando foram registradas 45,82 milhões de toneladas (ANDA, 2025). Em contrapartida, a produção nacional de fertilizantes intermediários atingiu 7,21 milhões de toneladas em 2024, o que representa um aumento de 3,8% em relação às 6,95 milhões de toneladas produzidas em 2023.

Apesar desse avanço, a produção doméstica ainda cobre apenas uma parcela limitada da demanda nacional, mantendo o Brasil em condição de elevada dependência das importações para suprir suas necessidades agrícolas (ANDA, 2025).

Diante desse cenário de elevada dependência externa e sazonalidade do consumo, a previsão de demanda torna-se elemento central para apoiar o planejamento da produção na indústria de fertilizantes, reduzindo riscos associados à volatilidade do mercado.

2.2 PREVISÃO DE DEMANDA

A previsão de demanda possui elevada importância dentro de sistemas de planejamento e controle da produção (PCP), pois fornece estimativas que orientam decisões sobre capacidade, estoques e força de trabalho. Há consenso de que previsões imprecisas elevam os custos operacionais e comprometem a eficiência da operação (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). Evidências adicionais mostram que a escolha do método afeta diretamente o desempenho na tomada de decisões táticas e a estabilidade dos processos (Makridakis & Assimakopoulos, 2018).

Métodos quantitativos baseados em séries temporais seguem sendo amplamente utilizados em ambientes industriais, por conta da sua capacidade de capturar padrões históricos estruturais. Modelos clássicos como o ARIMA são amplamente utilizados em diversos estudos por sua boa interpretabilidade e desempenho satisfatório, mas possuem limitações de não linearidades ou múltiplos ciclos (Box & Jenkins, 2015).

Com o avanço da inteligência artificial, técnicas modernas ampliaram o conjunto de ferramentas disponíveis para previsão industrial, modelos baseados em árvores otimizadas capturam interações complexas e padrões não lineares presentes em dados operacionais (Chen & Guestrin, 2016). Pesquisas também mostram que redes LSTM superam métodos estatísticos tradicionais em séries com múltiplas periodicidades e ruído (Siarni-Namini & Namin, 2018). Estudos sobre MLPs indicam que essas redes conseguem aproximar funções não lineares e responder bem a ambientes de alta variabilidade (Zhang et al., 1998). Revisões demonstram que técnicas modernas de previsão são adequadas para ambientes industriais voláteis e com múltiplos fatores de influência, apresentando maior robustez sob instabilidade (Muth et al., 2024).

Nos modelos de Machine Learning utilizados para a previsão das séries temporais, os dados são comumente estruturados por meio de janelas deslizantes, onde observações passadas são organizadas como vetores de entrada para estimar valores futuros, esses modelos permitem capturar dependências temporais sem a necessidade de modelos recorrentes e é adequada para cenários industriais marcados por variabilidade e não linearidade (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Além dos modelos individuais, a literatura recente destaca o uso de combinação entre as previsões, conhecidas também como ensembles, que tendem a produzir resultados mais robustos por reduzirem erros específicos de cada modelo e capturarem diferentes padrões presentes na série temporal, demonstrando que modelos combinados superam métodos isolados na maior parte dos cenários avaliados, principalmente em ambientes industriais com alta variabilidade (Makridakis & Assimakopoulos, 2018). Abordagens modernas como FFORMA também reforçam a eficácia do uso de ensembles ao integrar características da série para ponderar automaticamente os modelos mais adequados em cada situação. Esses resultados consolidam a combinação de previsões como uma prática recomendada quando a acurácia influencia decisões operacionais (Montero-Manso et al., 2020).

A avaliação dos modelos exige a utilização de métricas de erro adequadas, já que

diferentes medidas enfatizam aspectos distintos de discrepância entre valores previstos e observados. Métricas como o MSE, MAE e RMSE, são recomendadas para comparação entre métodos e calibração de hiperparâmetros (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Em contextos decisórios, modelos de previsão são constantemente complementados por análises de incerteza, como intervalos de confiança e intervalos de predição que oferecem faixas realistas de variação dos resultados futuros, incorporar incerteza melhora a qualidade das decisões de capacidade, permitindo a construção de cenários pessimista, base e otimista (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Considerando esses elementos, previsões mais precisas, quando acompanhadas de medidas de incerteza, reduzem a variabilidade percebida pelo sistema produtivo e melhoram a qualidade das decisões no PAP, especialmente em ambientes nos quais a capacidade da força de trabalho constitui uma restrição crítica (Cheraghalikhani et al., 2019).

2.3 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO (PAP)

O planejamento agregado da produção (PAP) é uma etapa estratégica do planejamento operacional. Seu principal objetivo é equilibrar a demanda prevista com a capacidade produtiva disponível, contribuindo para a redução de custos e a otimização dos recursos operacionais (Stevenson, 2001). Essa etapa busca determinar os níveis ótimos de produção, estoque e força de trabalho ao longo de um horizonte de planejamento, assegurando que a demanda seja atendida de acordo com os recursos disponíveis da empresa (Cheraghalikhani et al., 2019).

Em ambientes industriais nos quais não há produção para estoque nem utilização de horas extras, e onde a capacidade produtiva depende diretamente do número de operadores, o PAP assume uma configuração mais restrita. Nessas condições, a força de trabalho torna-se a principal variável na tomada de decisão e o elemento determinante para viabilizar ou limitar a produção (Ernst et al., 2004). A literatura reforça que, quando a mão de obra é o fator decisório central, variações na demanda impactam diretamente o desempenho do sistema produtivo, exigindo ferramentas de planejamento capazes de lidar com as flutuações previstas (Meistering & Stadtler, 2015).

Embora o PAP seja tradicionalmente baseado em previsões pontuais, abordagens mais recentes passaram a incorporar análises de incerteza ao processo decisório. Entre essas abordagens, destacam-se o uso de intervalos de predição e a construção de diferentes cenários

de demanda. A definição dos cenários pessimista, base e otimista permite visualizar possíveis comportamentos futuros da demanda, avaliar a sensibilidade das decisões de capacidade frente à incerteza e mitigar riscos operacionais associados à elevada variabilidade da demanda (Gneiting & Katzfuss 2014).

Nos últimos anos, o paradigma predict-and-optimize tem ganhado força, que reproduz a ideia de que previsões geradas por modelos estatísticos ou de machine learning são integradas diretamente a métodos de otimização, permitindo converter estimativas de demanda em decisões ótimas sobre força de trabalho, capacidade e níveis de produção, gerando soluções mais consistentes do ponto de vista operacional (Kadioglu & Alatas, 2023).

No contexto desse estudo, o PAP é formulado como um problema de programação linear, no qual a capacidade produtiva depende do número de operadores disponíveis e das horas efetivas de produção. Essa configuração é coerente com a realidade da operação da empresa analisada, na qual decisões de contratação, demissão e subcontratação são os principais mecanismos de ajuste de capacidade.

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta baseia-se em modelos de machine learning para previsão de demanda mensal de produção e o PAP para determinar a otimização do uso da mão de obra, considerando restrições operacionais e redução de custos. A pesquisa científica deve gerar soluções reais e práticas para problemas empresariais (Hevner et al., 2004). O estudo segue o princípio defendido por Hevner et al. (2004), segundo o qual a pesquisa científica deve gerar soluções reais e aplicáveis a problemas empresariais, sendo avaliada quanto à sua eficácia e contribuição tecnológica (Khalid et al., 2021).

3.1 ESCOPO DA EMPRESA

A empresa na qual o estudo foi realizado é uma multinacional que atua nos setores de produção, armazenagem e exportação de commodities. A unidade analisada, localizada no litoral do Paraná, é especializada na fabricação de fertilizantes, tendo como diferencial o acesso facilitado à matéria-prima importada pelo porto da cidade. A planta possui uma capacidade produtiva anual aproximada de 260 mil toneladas de fertilizantes variados em 2025. Os tipos de fertilizantes produzidos são das famílias fosfatados e nitrogenados e as formulações NPK.

Cada linha de produção opera com uma equipe composta por 9 operadores, distribuídos entre atividades operacionais, apoio à produção e armazenagem. A planta conta com duas linhas de produção, cujo funcionamento é idêntico, permitindo a operação simultânea de dois tipos distintos de produtos. Essa configuração garante flexibilidade produtiva e padronização dos processos, conforme ilustrado na Figura 1, que apresenta a disposição geral das linhas e dos principais pontos operacionais da unidade.

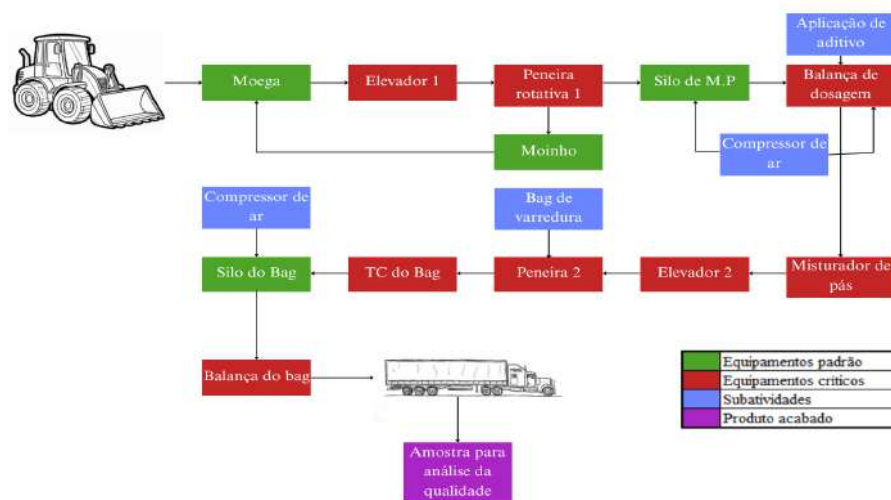


Figura 1 - Fluxograma produtivo linhas de produção

Fonte: Autor (2025)

A empresa opera de segunda a sábado, não realizando atividades aos domingos e feriados. Os operadores atuam em regime de turnos de 8 horas, não sendo permitida a realização de horas extras. Essas restrições operacionais impõem limites rígidos à capacidade produtiva da unidade, tornando a força de trabalho o principal mecanismo de ajuste da produção.

A empresa opera de segunda à sábado, não operando aos domingos e feriados, também não disponibiliza hora extra para os funcionários, os operadores trabalham no regime de 8 horas por turno, não podendo ultrapassar esse valor.

3.2 SEQUÊNCIA METODOLÓGICA

A estrutura metodológica adotada segue princípios segundo os quais a pesquisa deve ser sistemática, reprodutível e orientada à solução prática de problemas (Hevner et al., 2004). O procedimento foi organizado em quatro etapas principais, conforme descrito a seguir e sintetizado na Figura 2, apresentando o fluxo geral da pesquisa.



Figura 2 - Sequência metodológica

Fonte: Autor (2025)

A primeira etapa corresponde à coleta de dados, sendo incluídos a obtenção dos dados operacionais históricos de produção necessários para a análise e também os dados referentes aos custos internos da planta para a etapa da 4. A segunda etapa consiste no pré-processamento dos dados, incluindo a limpeza da base, o tratamento de inconsistências e a organização das séries temporais, bem como a divisão dos dados em conjuntos de treino e teste seguindo a lógica temporal, a fim de evitar vazamento de informação.

Na terceira etapa, realiza-se a aplicação dos modelos de previsão, englobando o treinamento dos modelos XGBoost, MLP e LSTM, com o registro dos parâmetros e procedimentos adotados. Nessa etapa, os modelos são avaliados de forma comparativa por meio das métricas MSE, MAE e RMSE, sendo posteriormente analisada a possibilidade de combinação dos modelos individuais por meio de um ensemble. Com base nesse processo, são geradas previsões para um horizonte de 12 meses, incluindo a construção dos cenários pessimista, base e otimista.

Por fim, a quarta etapa corresponde à otimização por meio do PAP. As previsões selecionadas são utilizadas como dados de entrada no PAP, permitindo a estimativa da produção mensal agregada e a avaliação do dimensionamento ótimo da força de trabalho. Os resultados obtidos são então comparados ao cenário real da empresa, possibilitando a análise dos ganhos potenciais decorrentes da abordagem proposta.

3.2.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os dados coletados são referentes à produção mensal em toneladas de fertilizante, que contemplam os meses de janeiro de 2014 até outubro de 2025, totalizando 142 meses analisados. Os dados foram processados em ambiente Python, auxiliando no tratamento e análise das informações utilizadas nas previsões, incluindo o tratamento inicial de outliers por meio do método do intervalo interquartil (IQR). Nesse procedimento, foram definidos limites inferior e superior a partir dos quartis da distribuição, adotando-se o critério de 1,5 vezes o valor do IQR; observações fora desses limites foram consideradas atípicas, sendo substituídas por

valores ausentes e posteriormente interpoladas de forma linear, de modo a preservar a continuidade temporal da série e reduzir distorções pontuais sem comprometer seu comportamento global.

Realizou-se, adicionalmente, uma análise exploratória da série temporal, incluindo sua decomposição em tendência, sazonalidade e resíduos, bem como a análise de autocorrelação e autocorrelação parcial. Foi aplicado o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF), para verificar a estacionariedade da série. A série também foi normalizada no intervalo entre 0 e 1 por meio do método Min-Max, utilizando o MinMaxScaler, aplicado separadamente aos conjuntos de treino e teste, a fim de evitar vazamento de informação.

Embora a série original seja univariada, composta apenas pela variável de produção mensal, o processo de previsão foi tratado de forma multivariada por meio da construção de variáveis adicionais. Foram geradas variáveis temporais, defasagens da produção, médias móveis, medidas de tendência e representações cíclicas dos meses, com o objetivo de incorporar informações temporais e sazonais relevantes ao processo preditivo.

Já para a etapa do PAP, foi necessária a coleta dos seguintes dados: (1) previsão de demanda da produção; (2) capacidade produtiva; (3) custos de produção; (4) custos de mão de obra; (5) custos de contratação de funcionários; (6) custos de demissão de funcionários; e (7) quantidade de funcionários disponíveis em cada período analisado.

3.3 PREVISÃO DE DEMANDA

Para realizar a previsão, foram utilizados os modelos XGBoost, MLP e LSTM para verificar qual apresenta melhor desempenho em cenários reais com séries temporais relacionadas à produção. Os três modelos utilizam o mesmo pré-processamento dos dados, garantindo comparabilidade dos resultados.

Os dados iniciais são disponibilizados no excel e importados para o software Python para leitura e tratamento de dados. Inicialmente a série mensal de produção foi normalizada e estruturada por meio de janelas deslizantes, permitindo que os modelos recebessem como entrada sequências de valores passados e retornassem a previsão do próximo valor. Foram considerados lookbacks de 3, 6, 9, 12 e 18 meses, permitindo avaliar diferentes níveis de dependência temporal. A utilização de múltiplos tamanhos de lookbacks podem capturar padrões distintos em séries complexas, aumentando a robustez do processo preditivo (Bontempi et al., 2012).

Para cada um dos modelos preditivos, os hiperparâmetros foram ajustados por meio do Optuna, uma extensão da linguagem Python voltada à otimização automática, com o objetivo de minimizar o erro quadrático médio no conjunto de validação. A divisão da base de dados seguiu o critério temporal de 70% para treino e 30% para teste, preservando a ordem cronológica das observações.

No caso do modelo MLP, a configuração ótima obtida consistiu em três camadas ocultas com 94, 93 e 110 neurônios, respectivamente, utilizando a função de ativação ReLU. Foram adotados um termo de regularização $\alpha = 0,0014$, taxa de aprendizado inicial de 0,0074, taxa de dropout de aproximadamente 0,16 e um limite máximo de 672 iterações de treinamento.

Para o modelo LSTM, a arquitetura selecionada apresentou 244 unidades na camada recorrente, com taxa de dropout de aproximadamente 0,48, taxa de aprendizado de 0,0047, tamanho de lote igual a 8 observações e treinamento realizado ao longo de 143 épocas. Essa configuração permitiu capturar dependências temporais de longo prazo presentes na série mensal de produção.

Já o modelo XGBoost foi ajustado com 1.453 árvores, profundidade máxima igual a 4 e taxa de aprendizado de aproximadamente 0,14. Os parâmetros de amostragem foram definidos como subsample igual a 0,61 e colsample_bytree igual a 0,89, além da inclusão de termos de regularização $\alpha=0,79$ e $\lambda=7,54$, visando controlar a complexidade do modelo e reduzir o risco de sobreajuste.

A seleção do modelo base para compor o ensemble considerou o menor valor de RMSE obtido no conjunto de testes entre os modelos avaliados, métrica recomendada para decisões operacionais por penalizar erros de maior magnitude (Zhang & Meng, 2023).

3.3.1 EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBoost)

O algoritmo XGBoost representa uma versão otimizada do gradient boosting, que combina o aprendizado de múltiplas árvores de decisão fracas para formar um modelo de alto desempenho. O diferencial está na regularização L1 e L2, controle de overfitting e paralelização do treinamento, fazendo com que seja mais eficiente em termos computacionais (Chen & Guestrin, 2016).

Muth et al., (2024), menciona que o XGBoost se destaca como uma das abordagens mais eficazes para previsão de séries temporais multivariadas em ambientes industriais, por conta da sua capacidade de capturar interações complexas entre variáveis sem exigir um grande

volume de processamento. Em comparação a métodos tradicionais, o XGBoost apresenta melhor desempenho em dados com sazonalidade irregular e ruídos operacionais (Makridakis et al., 2018).

O modelo é baseado em uma sequência de árvores de decisão, onde cada árvore subsequente busca corrigir erros residuais das árvores anteriores. A função objetivo a ser minimizada combina o erro quadrático médio com um termo de regularização conforme apresentado na equação (1):

$$Obj(\theta) = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^K \Omega(f_k) \quad (1)$$

Onde $l(y_i, \hat{y}_i)$ é a função de perda (geralmente quadrático), $\Omega(f_k)$ é o termo de regularização que penaliza a complexidade do modelo, e f_k é cada árvore de decisão adicionada ao ensemble. A Figura 3 ilustra de forma esquemática a estrutura conceitual do modelo XGBoost, evidenciando o processo de aprendizado sequencial e a agregação das árvores de decisão ao longo do treinamento.

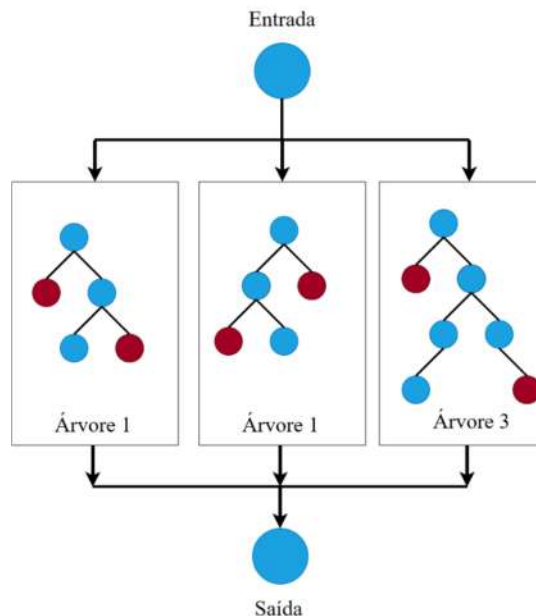


Figura 3 - Estrutura conceitual do modelo XGBoost

Fonte: Adaptado de Chen & Guestrin (2016)

Segundo Abbasimehr (2023), o XGBoost é amplamente utilizado em previsão de séries temporais industriais, por desempenhar semelhante ao LSTM, mas com menor tempo de treinamento e maior interpretabilidade, Zhang et al., (2021) também destaca sua aplicabilidade

em previsões de vendas e demanda de produtos, evidenciando sua versatilidade em ambientes de manufatura.

No contexto deste estudo, o XGBoost foi utilizado em formato supervisionado por meio de janelas deslizantes onde para cada lookback foram criadas matrizes X e vetores y. O modelo foi treinado pelos hiperparâmetros selecionados pelo Optuna e a avaliação foi realizada tanto no conjunto de treino quanto no de teste.

Essa abordagem garantiu que o XGBoost capturasse padrões não lineares de curta e média duração da série, já que o algoritmo modela as interações entre atrasos por meio das árvores.

3.3.2 LONG SHORT-TERM MEMORY (LSTM)

As redes LSTM são uma variação das redes recorrentes desenvolvida para diminuir problemas clássicos como o desaparecimento e a explosão do gradiente durante o treinamento, tornando o modelo adequado para a captura de dependências temporais de curto e longo prazo em séries temporais (Greff et al., 2016). A arquitetura do modelo organiza o fluxo da informação internamente, por um conjunto de mecanismos de controle, denominados de input gate (portão de entrada), forget gate (portão do esquecimento) e output gate (portão de saída), que regulam a informação da nova informação, removendo o conteúdo irrelevante e a geração da saída da célula (Sherstinsky 2020). Por conta disso, o modelo mantém relações temporais com janelas de longas observações, sendo bastante útil em ambientes industriais com alta sazonalidade e padrões irregulares de produção.

O funcionamento do modelo LSTM pode ser descrito matematicamente por um conjunto de equações que definem o comportamento dos seus portões e a atualização do estado interno da rede. Conforme apresentado nas Equações (2) a (6), o portão do esquecimento controla quais informações do estado anterior devem ser descartadas, o portão de entrada regula a incorporação de novas informações ao estado da célula e o portão de saída determina o conteúdo a ser propagado para o próximo estado oculto. Esses mecanismos permitem que o LSTM mantenha estabilidade durante o treinamento e seja adequado para problemas de séries temporais nos quais os padrões apresentam dependências de longo prazo e comportamentos não puramente lineares (Qin et al., 2017).

$$i_t = \sigma(W_{ih}[h_{t-1}], W_{ix}[x_t]), \quad (2)$$

$$C_t = \tanh(W_{ch}[h_{t-1}], W_{cx}[x_t], b_c) \quad (3)$$

$$f_t = \sigma(W_{fh}[h_{t-1}], W_{fx}[x_t], b_f) \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_{oh}[h_{t-1}], W_{ox}[x_t], b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

Onde t : tempo atual; $t-1$: tempo anterior; C : estado da célula; W : matriz de pesos; f_t : porta de esquecimento; it : porta de entrada; ot : porta de saída; b : viés; x_t : entrada; h_t : saída; \tanh : função de ativação tangente hiperbólica; σ : função de ativação sigmóide.

O portão de entrada (Input Gate) é responsável por decidir quais novas informações serão adicionadas ao estado da célula. Inicialmente, os vetores de entrada (x_t) e o estado oculto anterior (h_{t-1}) são processados pela função sigmoide, conforme a Equação (2), que define o grau de atualização das informações. Em paralelo, esses vetores são transformados pela função tangente hiperbólica, conforme a Equação (3), gerando os valores candidatos ao estado da célula. A combinação desses termos determina as informações efetivamente incorporadas à memória.

O portão de esquecimento (Forget Gate) tem como função eliminar informações irrelevantes do estado da célula. Esse mecanismo é descrito pela Equação (4), na qual as entradas x_t e h_{t-1} , passam pela função sigmoide, produzindo um vetor de valores entre 0 e 1 que indica o grau de retenção de cada informação armazenada. Esse processo permite ajustar dinamicamente a memória da célula ao longo do tempo.

O portão de saída (Output Gate) controla quais informações serão utilizadas como saída da célula e transmitidas para o próximo passo da rede. Conforme descrito pela Equação (5), o portão filtra as informações por meio da função sigmoide, enquanto a Equação (6) combina esse resultado com a função tangente hiperbólica aplicada ao estado da célula, produzindo a saída final h_t . A Figura 4 ilustra a estrutura interna de uma célula LSTM, destacando a interação entre os três portões.

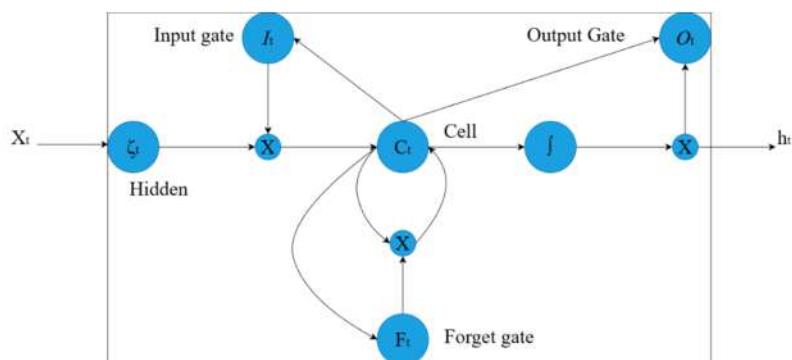


Figura 4 - Estrutura do LSTM

Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2023)

De acordo com Sagheer & Kotb (2019), modelos baseados em LSTM, apresentam desempenho superior quando comparados a métodos tradicionais de séries temporais, como ARIMA, em aplicações práticas de previsão industrial, conseguindo identificar relações multivariadas complexas e abruptas nos dados. O modelo se destaca pela robustez ao lidar com ruídos inerentes em ambientes operacionais, adaptando-se bem em séries temporais multivariadas e comportamento não estacionário (Karim et al., 2019).

Semelhante ao XGBoost, foram utilizados os lookbacks de 3 a 18 meses e a busca dos melhores hiperparâmetros com o Optuna. A validação foi realizada sobre a parte final do conjunto de treino e após o treinamento o modelo foi aplicado ao conjunto de testes para a previsão ponto a ponto, permitindo ao LSTM explorar relações sequências mais longas da série, adequadas em ambientes onde dependências temporais prolongadas influenciam o comportamento da demanda.

3.3.3 MULTILAYER PERCEPTRON (MLP)

Também conhecidas como Redes Neurais Multicamadas, essas redes constituem um modelo de aprendizado supervisionado capaz de aprender aproximações de funções não lineares. A MLP é uma rede neural do tipo feedforward, na qual os dados percorrem a rede em um único sentido, da camada de entrada até a camada de saída, sem ciclos. A Figura 5 ilustra a estrutura básica de uma rede neural artificial, evidenciando a organização em camadas e o fluxo de informações entre os neurônios. De acordo com Mishra e Huhtala (2019), qualquer função pode ser aproximada por uma MLP com pelo menos uma camada oculta e número suficiente de neurônios.

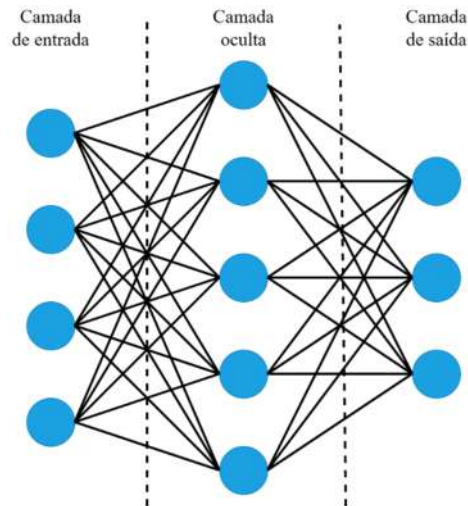


Figura 5 - Abordagem de uma estrutura de RNA

Fonte: Adaptado de Mishra & Huhtala (2019)

A arquitetura básica da MLP é composta por três camadas principais: a camada de entrada, responsável por receber os dados; a camada oculta, que processa as informações por meio de funções de ativação; e a camada de saída, que fornece o resultado final da rede.

O funcionamento matemático da MLP pode ser descrito a partir do processamento realizado na camada oculta. Inicialmente, o potencial de ativação do neurônio oculto j é calculado conforme a Equação (7):

$$s_j = \sum_{i=1}^n (W_{ij} \cdot X_i) - \theta_j \quad (7)$$

Em seguida, o valor obtido é transformado por uma função de ativação sigmoide, conforme apresentado na Equação (8):

$$S_j = \frac{1}{(1 + \exp(-s_j))} \quad (8)$$

Onde W_{ij} representa o peso que conecta o nó i da camada de entrada ao neurônio j da camada oculta, X_i corresponde ao recurso de entrada, θ_j é o viés associado ao neurônio oculto e indica a função exponencial.

A saída da rede é então calculada a partir dos valores da camada oculta. Primeiramente, é obtido o potencial de ativação do neurônio de saída k , conforme a Equação (9):

$$o_k = \sum_{j=1}^h (w_{jk} \cdot S_j) - \theta'_k \quad (9)$$

Posteriormente, aplica-se novamente a função sigmoide para gerar a saída final da rede, conforme a Equação (10):

$$Ok = \frac{1}{(1+\exp(-ok))} \quad (10)$$

Nessas equações, w_{jk} representa o peso que conecta o neurônio j da camada oculta ao neurônio k da camada de saída, e θ'_k indica o viés associado à camada de saída.

O desempenho do modelo depende fundamentalmente da estimação adequada dos pesos e vieses, ajustados durante o processo de treinamento por meio de algoritmos como a retropropagação do erro. A capacidade de ajuste da MLP é especialmente eficaz em previsões que envolvem padrões não lineares, superando modelos estatísticos tradicionais quando há dependências complexas entre as variáveis (Khashei & Bijari, 2010). Quando bem treinadas e configuradas, as redes MLP oferecem alta precisão mesmo em cenários com múltiplos atributos e elevada variabilidade (Schmidhuber, 2015).

No presente estudo, a série temporal foi transformada por meio de janelas deslizantes, sendo o vetor X de cada amostra achatado, convertendo o problema em uma regressão multivariada. Para cada valor de lookback, definido como o número de períodos anteriores utilizados como entrada do modelo, a série foi reorganizada em sequências supervisionadas, mantendo-se uma divisão temporal fixa de 70% para treino e 30% para teste, preservando a ordem cronológica dos dados. A variação do lookback altera apenas a estrutura das sequências utilizadas como entrada dos modelos, sem modificar os períodos destinados ao treinamento e à avaliação. Adicionalmente, foi realizada a busca de hiperparâmetros por meio do Optuna, contemplando parâmetros como o número de camadas ocultas, o número de neurônios, a taxa de aprendizagem e o termo de regularização (α).

3.3.4 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

A avaliação dos modelos preditivos através das métricas de desempenho, é etapa fundamental no processo de previsão, pois através delas é capaz de estimar quão próximas estão as previsões dos valores reais observados. Dentro das atividades industriais, é indispensável o uso de métricas, pois diferentes tipos de erro podem afetar diretamente decisões de planejamento, custos e níveis de serviço (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Dentre as métricas mais utilizadas, encontram-se o MAE (Mean Absolute Error), o MSE

(Mean Squared Error) e o RMSE (Root Mean Squared Error). Cada uma delas oferece uma perspectiva distinta sobre o peso do erro, permitindo avaliar a precisão média quanto a penalização de erros extremos (Zhang & Meng, 2023).

O MAE mede o erro médio absoluto entre a previsão e o valor real, sendo menos sensível a valores extremos e útil em cenários onde a interpretação direta do erro médio é desejável. A representação do MAE é dada pela equação (11).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |\hat{y}(t) - y(t)| \quad (11)$$

O MSE, eleva o erro ao quadrado, fazendo com que desvios mais elevados sejam mais penalizados, tornando a métrica apropriada quando se deseja restringir erros grandes mesmo que ocasionais conforme a equação (12).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{y}(t) - y(t))^2 \quad (12)$$

O RMSE, definido como a raiz quadrada do MSE, retorna o erro na mesma unidade da variável prevista, facilitando a interpretação em contextos operacionais de acordo com a equação (13).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{y}(t) - y(t))^2} \quad (13)$$

Essas métricas são amplamente utilizadas em trabalhos de previsão, servindo como ferramentas padrão para comparação entre modelos, calibração de hiperparâmetros e avaliação de melhorias, a escolha adequada da métrica deve ser alinhada ao objetivo da previsão e à sensibilidade do processo produtivo aos diferentes tipos de erro (Cunha, 2021).

Para todos os modelos avaliados, foram comparados os dados reais da produção com as previsões, permitindo observar o comportamento da série. Também foram constituídos intervalos de confiança de 95% aplicando a suposição de normalidade dos resíduos do ensemble e utilizando o desvio-padrão estimado na distribuição residual para compor limites superior e inferior da previsão.

3.4 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO (PAP)

Para apoiar o PAP, este estudo adotou um modelo de otimização baseado em programação linear inteira, formulado para determinar o dimensionamento ótimo da força de trabalho ao longo do horizonte de planejamento. O modelo utiliza como entrada as previsões de demanda obtidas na etapa anterior e incorpora restrições operacionais reais da unidade analisada, permitindo avaliar decisões de capacidade de forma estruturada e quantitativa no contexto produtivo da indústria de fertilizantes.

Por conta das características do processo produtivo analisado, não são utilizados elementos como estoque, já que a produção não é feita para estocagem, também não será utilizado hora extra, pois a empresa não trabalha com regime de horas extras. Segundo Ernst et al. (2004), essas condições, fazem com que a força de trabalho represente papel central, justificando a adoção de um modelo centrado na capacidade produtiva derivada da mão de obra.

O horizonte de planejamento (H) adotado é composto por 12 períodos mensais. Para cada período são considerados os custos associados à produção interna (C_t^u), mão de obra (C_t^m), contratação (C_t^c), demissão (C_t^D) e subcontratação (C_t^S).

As variáveis de decisão incluem a quantidade produzida (U_t), a produção terceirizada (U_t^S), o número total de trabalhadores (T_t), assim como o número de contratações (T_t^c) e demissões (T_t^D). A capacidade produtiva representada por Ca_t , determinada a partir das horas de trabalho disponíveis (H_t) e da produtividade média dos trabalhadores (x).

A função objetivo do modelo consiste em minimizar o custo total no horizonte analisado, sendo expressa pela equação (14).

$$\min \sum_{t=1}^H = (C_t^u \cdot U_t + C_t^m \cdot T_t + C_t^c \cdot T_t^c + C_t^D \cdot T_t^D + C_t^S \cdot U_t^S) \quad (14)$$

A primeira restrição do modelo, mantém a força de trabalho, relacionando-a ao número de trabalhadores disponíveis no período atual com o período anterior, acrescentando as contratações e reduzindo as demissões conforme a equação (15).

$$T_t = T_{t-1} + T_t^c - T_t^D \text{ para } 1 \leq t \leq \quad (15)$$

A capacidade produtiva interna é definida conforme a equação (16), onde a produtividade dos operadores é multiplicada pelas horas de trabalho disponíveis no período, valor obtido na agregação das linhas e dos turnos observados. Para a definição da produtividade

média dos operadores (x), foi considerada a capacidade nominal horária da unidade produtiva, a qual foi distribuída pelo número de operadores envolvidos no processo e em seguida, esse valor foi ajustado em função do número médio de dias de operação no mês, de modo a expressar a produtividade em termos compatíveis com o horizonte mensal adotado no PAP.

$$Ca_t = x \cdot H_t \quad (16)$$

Por fim, as variáveis de decisão devem assumir valores não negativos, seguindo a equação (17).

$$U_t, U_t^S, T_t, T_t^c, T_t^D, Ca_t \geq 0 \quad (17)$$

A estrutura adotada possibilita a realização de simulações, análise de sensibilidade, permitindo a gestão visualizar e compreender a influência das variáveis tanto da produção quanto dos custos operacionais, auxiliando na tomada de decisões alinhadas com a realidade industrial.

3.5 APLICAÇÃO DAS PREVISÕES NO PAP

A fase final da metodologia é dada pela integração dos resultados dos modelos de previsão com o PAP, realizando um fluxo único e automatizado para o processo decisório. Essa integração operacionaliza o paradigma do predict-and-optimize, no qual previsões orientam diretamente decisões ótimas de capacidade derivadas da força de trabalho (Kadioglu & Alatas, 2023).

Nesse estudo, a previsão serviu como dado de entrada para o PAP, que determina o quantitativo ideal de operadores próprios e a quantidade de produção realizada por operadores sindicalizados para cada mês do horizonte de planejamento. Esse modelo considera restrições operacionais ligadas aos custos principais e à capacidade operada da fábrica, retornando a solução ótima em termos de redução de custos.

O processo de integração ocorre de maneira híbrida: as previsões são geradas em ambiente Python, garantindo automação e precisão das estimativas de demanda, enquanto a etapa do PAP é implementada no Excel, utilizando a extensão solver para resolver o problema considerando as restrições operacionais de forma efetiva e também automatizada. Essa estrutura permite ao gestor simular cenários alternativos de demanda e avaliar seus impactos no

dimensionamento da força de trabalho, contribuindo para uma tomada de decisão baseada em evidências e resultando em ferramentas práticas, aplicáveis e adequadas ao contexto organizacional (Hevner et al., 2004).

Dessa maneira, a união entre previsão e PAP, por meio do Python e do Excel, aumenta a assertividade do planejamento, gerando ganhos em custos trabalhistas, utilização ótima dos recursos, estabilidade operacional e maior capacidade de resposta às flutuações da produção de fertilizantes. Essa arquitetura integrada oferece suporte operacional à tomada de decisão alinhada às necessidades reais da empresa.

4. RESULTADOS

4.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Após realizar o processo de análise e tratamento inicial de dados durante os períodos de janeiro de 2014 até outubro de 2025, obteve-se um total de 142 dados. A Figura 7 demonstra o gráfico da produção mensal desse período.

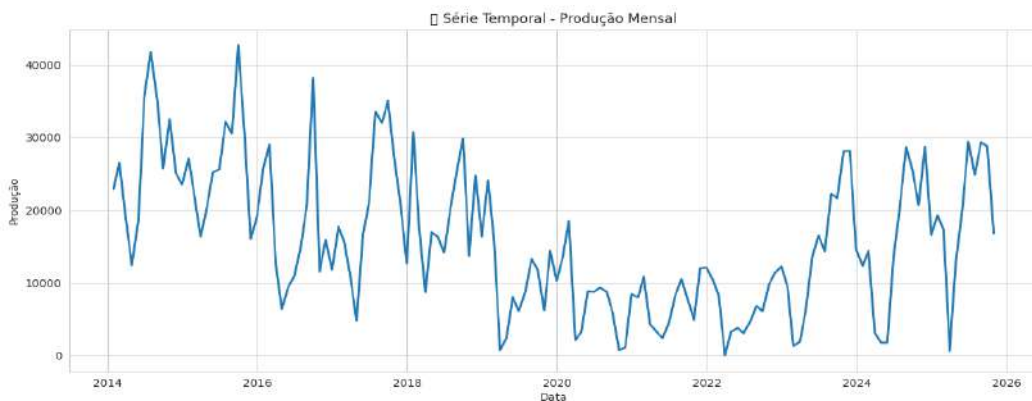


Figura 6 - Plotagem da produção mensal de fertilizantes

Fonte: Autor (2025)

O teste de ADF, cujo resultado indicou a não estacionariedade da série, característica que reforça a adequação do uso de modelos de machine learning, uma vez que esses modelos não dependem do pressuposto de estacionariedade, diferentemente de abordagens estatísticas tradicionais, e apresentam maior capacidade de capturar padrões não lineares presentes na demanda. Após o tratamento de outliers do IQR, foi identificado que a série não possui outliers, com um limite superior de 45.707,62 e limite inferior igual a -13.795,37, demonstrando que para a análise foram utilizados todos os dados disponíveis. O teste de ADF deu 0,4011 indicando a não estacionariedade da série, demonstrando cenário ideal para aplicação de modelos de machine learning (Kontopoulou et al., 2023).

A decomposição da série na Figura 7, possibilita identificar na primeira etapa do gráfico os dados coletados, no segundo gráfico a tendência do modelo, na terceira parte a sazonalidade e por fim no quarto gráfico é possível observar os resíduos.

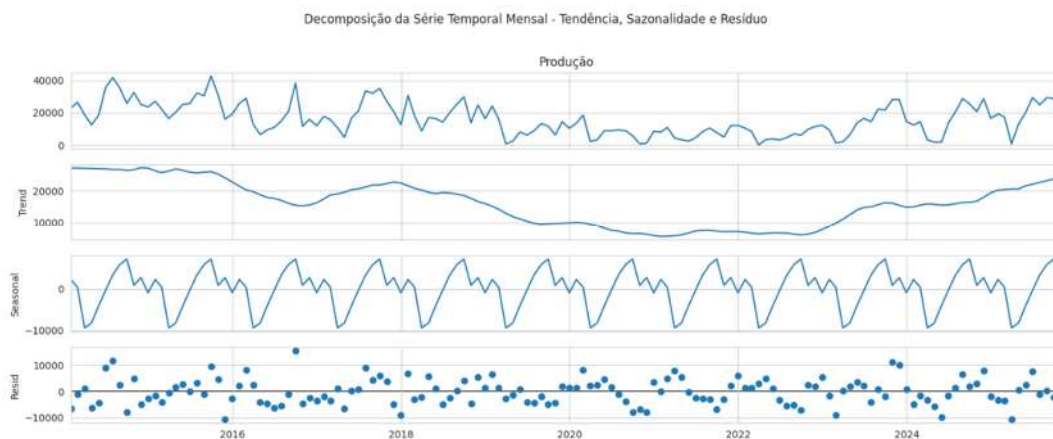


Figura 7 - Decomposição em série da quantidade de produção

Fonte: Autor (2025)

Com base nisso, é possível observar que há tendência inicial de queda na produção até os dados de 2021 e após isso uma nova tendência de alta, podendo ser iminente da pandemia do coronavírus que assolou o mundo nos anos de 2020 e 2021(Uğur & Buruklar, 2022). Há também a presença de sazonalidade da série, indicando períodos de baixa e alta produtividade com o passar dos meses, dado a períodos de colheita conhecidos como entressafra. Por fim, pode-se observar a presença de ruídos e variações decorrentes da operação industrial.

A análise mês a mês reforça a sazonalidade, meses como julho, agosto e setembro apresentam níveis médios e superiores, enquanto fevereiro, março e abril concentram os menores valores. Essa característica justifica plenamente o uso de modelos não lineares e sensíveis a dependências temporais como MLP, LSTM e XGBoost, principalmente em séries industriais com sazonalidade marcada e choques operacionais.

4.2 RESULTADO DAS PREVISÕES

Os três modelos foram avaliados utilizando 30% dos dados para teste, com diferentes janelas de lookbacks (3, 6, 9, 12 e 18 meses). A Tabela 1 apresenta as métricas de erro para cada modelo e para cada lookback.

Tabela 1 - Desempenho dos modelos por lookback

	XGBoost			LSTM			MLP		
	MSE	MAE	RMSE	MSE	MAE	RMSE	MSE	MAE	RMSE
Horizonte 3	0,0216	0,1224	0,1468	0,0549	0,1930	0,2344	0,0220	0,1169	0,1483
Horizonte 6	0,0226	0,1221	0,1504	0,0700	0,2240	0,2645	0,0311	0,1398	0,1763
Horizonte 9	0,0236	0,1309	0,1536	0,0900	0,2585	0,3000	0,0413	0,1681	0,2033
Horizonte 12	0,0256	0,1335	0,1599	0,0341	0,1637	0,1846	0,0321	0,1556	0,1791
Horizonte 18	0,0294	0,1459	0,1716	0,0400	0,1687	0,2000	0,0548	0,1937	0,2341

Fonte: Autor (2025)

De modo geral, o modelo XGBoost apresentou o melhor desempenho preditivo, superando o MLP e o LSTM na maioria dos cenários, principalmente em janelas mais curtas. No horizonte de 3 meses, o XGBoost apresentou RMSE aproximadamente 37% inferior ao do LSTM e desempenho semelhante ao do MLP, com diferença inferior a 2%. À medida que o horizonte de previsão aumenta, essa superioridade torna-se mais evidente, com reduções de erro variando entre 15% e 43% em relação aos demais modelos, dependendo do lookback analisado.

O MLP apresentou desempenho competitivo nos horizontes mais curtos, porém com degradação gradual da acurácia em janelas mais longas, já o LSTM, apesar de sua adequação teórica a séries temporais complexas, apresentou erros médios mais elevados, indicando sensibilidade a ruídos e variações rápidas presentes na série analisada.

Observa-se ainda que todos os modelos tiveram dificuldade em capturar picos extremos de produção, especialmente valores superiores a 30.000 toneladas, além de tendência à subestimação em meses de produção muito baixa, esse comportamento é típico de séries temporais industriais voláteis, nas quais eventos operacionais abruptos introduzem incertezas difíceis de serem antecipadas apenas por modelos preditivos.

Dessa forma, os resultados evidenciam que, embora os modelos de machine learning forneçam estimativas acuradas da demanda média, a variabilidade residual reforça a necessidade de integrar as previsões ao PAP, permitindo absorver incertezas e ajustar a capacidade produtiva de forma estruturada, especialmente por meio do dimensionamento da força de trabalho.

Diante da proximidade de desempenho entre os modelos XGBoost e MLP, e considerando evidências da literatura sobre ganhos de robustez em combinações de modelos, foi construído um ensemble ponderado a partir das previsões individuais. A ponderação foi definida com base no desempenho preditivo de cada modelo no conjunto de teste, utilizando o erro quadrático médio da raiz (RMSE) como critério de referência.

Inicialmente, foi calculado o inverso do RMSE de cada modelo, de modo que aqueles com menor erro recebessem maior importância relativa na combinação final. Em seguida, esses valores foram normalizados pela soma dos inversos dos RMSEs de todos os modelos considerados, garantindo que a soma dos pesos resultasse em uma unidade. Esse procedimento assegura que modelos mais precisos contribuam de forma mais significativa para a previsão combinada, ao mesmo tempo em que preserva a participação dos demais modelos.

A escolha do RMSE como base para a ponderação segue recomendações consolidadas na literatura de previsão de séries temporais, uma vez que essa métrica penaliza erros de maior magnitude e resulta em combinações mais estáveis e estatisticamente fundamentadas (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Com base nos valores de RMSE obtidos no conjunto de teste (MLP = 0,1483; LSTM = 0,1846; XGBoost = 0,1468), os pesos finais do ensemble foram definidos como 0,355 para o MLP, 0,286 para o LSTM e 0,359 para o XGBoost. Como os valores de RMSE do XGBoost (0,1468) e do MLP (0,1483) são muito próximos, seus inversos apresentam magnitudes semelhantes, resultando em pesos praticamente equivalentes após a normalização. Já o LSTM, com RMSE mais elevado (0,1846), recebeu um peso relativamente menor. Esse procedimento reflete a superioridade relativa do XGBoost e do MLP, sem desconsiderar a contribuição do LSTM na captura de padrões temporais complementares.

A Figura 8 apresenta o desempenho do modelo ensemble ponderado no conjunto de teste, bem como a projeção de 12 meses à frente, considerando um intervalo de confiança de 95%. Observa-se que, durante o período de teste, o ensemble acompanha de forma consistente o comportamento dos dados reais, capturando adequadamente a tendência geral da série, ainda que apresente suavização em relação a picos e vales mais abruptos, característica esperada em modelos combinados.

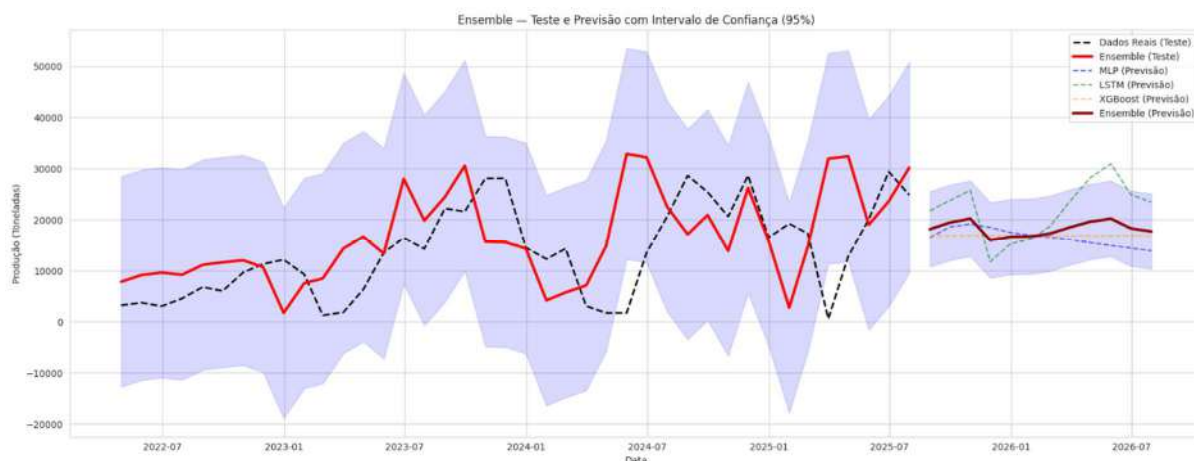


Figura 8 - Comparativo da previsão entre modelos e o ensemble

Fonte: Autor (2025)

O intervalo de confiança no período de teste reflete a elevada variabilidade da produção mensal, evidenciando a presença de ruídos operacionais e flutuações sazonais inerentes ao processo produtivo. No horizonte futuro, as previsões individuais dos modelos MLP, LSTM e XGBoost são apresentadas de forma tracejada, destacando diferenças de comportamento entre abordagens baseadas em dependência temporal e modelos mais robustos a variações rápidas. A curva do ensemble ponderado posiciona-se de maneira intermediária entre essas previsões, resultando em estimativas mais estáveis e menos sensíveis a erros pontuais de cada modelo isolado.

De forma geral, o ensemble demonstra maior robustez e consistência preditiva, justificando sua adoção como entrada para o PAP, ao fornecer projeções mais equilibradas e alinhadas à incerteza observada nos dados históricos.

A Tabela 2 apresenta os valores previstos pelo ensemble ponderado para o período de novembro de 2025 a outubro de 2026, bem como os limites inferior e superior do intervalo de confiança de 95%, utilizados para fins de comparação entre diferentes cenários do PAP. O intervalo de confiança foi construído a partir da variabilidade entre as previsões individuais dos modelos que compõem o ensemble, considerando o desvio padrão dos resíduos em relação à previsão combinada, assumindo uma aproximação normal dos erros, aplicou-se o fator 1,96 sobre esse desvio, permitindo quantificar a incerteza associada às projeções e fornecer suporte à análise de cenários otimista, base e pessimista no PAP.

Tabela 2 - Valores de previsão ensemble

Data	Previsão (Ton)	Limite Inferior	Limite Superior
nov/25	18.196	13.187	23.205
dez/25	19.497	14.488	24.506
jan/26	20.276	15.268	25.285
fev/26	16.046	11.037	21.055
mar/26	16.700	11.692	21.709
abr/26	16.770	11.762	21.780
mai/26	17.347	12.339	22.356
jun/26	18.604	13.596	23.613
jul/26	19.685	14.676	24.694
ago/26	20.264	15.256	25.274
set/26	18.363	13.355	23.372
out/26	17.749	12.741	22.758

Fonte: Autor (2025)

O total previsto para os próximos 12 meses é de 219.503 toneladas, com um intervalo médio de confiança de ± 5.009 toneladas. Observa-se um crescimento moderado da produção de novembro para dezembro (aproximadamente +7,1%) e de dezembro para janeiro (+4,0%), seguido por uma retração expressiva entre janeiro e fevereiro (-20,9%), comportamento consistente com o padrão histórico de entressafra. A partir de março, a produção volta a apresentar recuperação gradual, com nova elevação mais significativa entre junho e agosto, destacando-se o aumento de cerca de +5,8% de junho para julho e +2,9% de julho para agosto, período associado aos meses de maior demanda observados na série. A variabilidade relativamente elevada das previsões reforça a necessidade de incorporação dessas projeções ao PAP, permitindo o ajuste antecipado da capacidade produtiva e do dimensionamento da força de trabalho frente às oscilações sazonais esperadas.

4.5 RESULTADO DO PAP

4.5.1 CENÁRIO ATUAL DA EMPRESA

No cenário atual da empresa, observa-se a priorização do uso máximo da mão de obra interna, sem a necessidade de recorrer à produção terceirizada, conforme evidenciado na Tabela 3 para o cenário base analisado. Para a construção desse cenário, as previsões geradas pelo ensemble ponderado, considerando um horizonte de 12 meses, foram utilizadas como dados de entrada do PAP, dessa forma, o modelo avalia a capacidade da força de trabalho interna em atender à demanda prevista, respeitando as restrições operacionais definidas para o sistema

produtivo.

Tabela 3 – Cenário atual da empresa:

Período	Contratados	Demitidos	Força de trabalho	Produção em Subcontratação	Produção	Demanda produção
0			26			
1	0	0	26	0	26.617,50	18.196,08
2	0	0	26	0	26.617,50	19.497,55
3	0	0	26	0	26.617,50	20.276,53
4	0	0	26	0	26.617,50	16.046,18
5	0	0	26	0	26.617,50	16.700,68
6	0	0	26	0	26.617,50	16.770,99
7	0	0	26	0	26.617,50	17.347,68
8	0	0	26	0	26.617,50	18.604,36
9	0	0	26	0	26.617,50	19.685,11
10	0	0	26	0	26.617,50	20.264,81
11	0	0	26	0	26.617,50	18.363,74
12	0	0	26	0	26.617,50	17.749,27
Custo Total			R\$ 2.385.183,06			

Fonte: Autor (2025)

Como pode-se observar, com a capacidade atual da fábrica a demanda prevista é atendida integralmente sem a necessidade de custos adicionais com trabalho terceirizado. Esse resultado indica que, embora não haja risco de subcapacidade no horizonte analisado, existe potencial de supercapacidade da planta em determinados períodos, refletida em elevados níveis de ociosidade da mão de obra. Do ponto de vista gerencial, essa condição implica impacto financeiro negativo associado à manutenção de recursos produtivos subutilizados, evidenciando a importância do PAP como ferramenta para avaliar alternativas de ajuste da força de trabalho e mitigação de custos operacionais.

4.5.2 CRIAÇÃO DE CENÁRIOS

Para avaliar a sensibilidade das decisões de força de trabalho à incerteza preditiva, foram resolvidos três cenários distintos, sendo o limite inferior e superior do intervalo de confiança juntamente com a previsão através do ensemble, gerando os cenários pessimista, base e otimista, definidos exclusivamente em função do nível de produção esperado, de modo que o cenário pessimista representa uma demanda inferior à previsão central, o cenário base corresponde à produção estimada pelo modelo e o cenário otimista reflete uma demanda

superior à prevista.

Cada cenário foi processado de forma independente, mantendo-se constantes todos os parâmetros operacionais e econômicos como os custos de contratação, demissão, mão de obra direta, horas normais e subcontratação, assim como a capacidade individual de cada operador. Essa abordagem permite isolar completamente o impacto da demanda sobre o comportamento do modelo, considerando como diretriz comum aos três cenários o atendimento integral da demanda prevista, priorizando a utilização da força de trabalho interna e recorrendo à subcontratação apenas de forma complementar.

O cenário pessimista apresenta a menor necessidade de capacidade ao longo do período, o resultado pessimista como demonstrado na Tabela 4, evidencia que a força de trabalho reduz inicialmente o quadro para 50% dos operadores indo de 23 para 13 e no 4º período até o 6º mantém-se esse quadro quando ocorre uma nova contratação no 7º período.

Tabela 4 - PAP cenário pessimista

Período	Contratados	Demitidos	Força de trabalho	Produção em Subcontratação	Produção	Demanda produção
0			26			
1	0	13	13	0	13.187	13.187
2	0	0	13	1.301	14.488	14.488
3	0	0	13	2.081	15.268	15.268
4	0	2	11	0	11.037	11.037
5	0	0	11	0	11.692	11.692
6	0	0	11	0	11.762	11.762
7	1	0	12	0	12.339	12.339
8	0	0	12	855	13.596	13.596
9	0	0	12	1.935	14.676	14.676
10	0	0	12	2.515	15.256	15.256
11	0	0	12	614	13.355	13.355
12	0	0	12	0	12.741	12.741
Custo Total			R\$ 1.323.034,14			

Fonte: Autor (2025)

Com a demanda em níveis menores, o PAP utiliza subcontratação apenas para complementar na produção em meses de leve elevação, de valores variando de 614 a 2.515 toneladas, esse comportamento indica que de acordo com a demanda reduzida o modelo mantém a capacidade própria mínima e utiliza subcontratação como mecanismo flexível e de

baixo custo para corrigir variações pontuais na demanda, o custo total nesse cenário é de R\$ 1.323.034,14, apresentando uma redução de custos em relação ao cenário atual da planta.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para o cenário base a partir da aplicação do modelo do PAP, evidenciando a evolução do dimensionamento da força de trabalho, os volumes de produção interna e subcontratada, bem como o custo total associado ao horizonte de planejamento analisado.

Tabela 5 – PAP cenário base

Período	Contratados	Demitidos	Força de trabalho	Produção em Subcontratação	Produção	Demanda produção
0			26			
1	0	8	18	0	18.196	18.196
2	0	0	18	1.301	19.497	19.497
3	0	0	18	2.080	20.276	20.276
4	0	1	16	0	16.046	16.046
5	0	0	16	0	16.700	16.700
6	0	0	16	0	16.770	16.770
7	1	0	17	0	17.347	17.347
8	0	0	17	855	18.604	18.604
9	0	0	17	1.936	19.685	19.685
10	0	0	17	2.515	20.264	20.264
11	0	0	17	614	18.363	18.363
12	0	0	17	0	17.749	17.749
Custo Total			R\$ 1.728.250,54			

Fonte: Autor (2025)

No cenário base, observa-se um comportamento intermediário em relação aos demais cenários analisados. Conforme indicado na Tabela 5, a força de trabalho ótima é inicialmente reduzida para 18 operadores, apresentando um padrão semelhante ao do cenário pessimista, com a demissão de mais dois funcionários no quarto período. Esse nível de pessoal é mantido até o sétimo período, quando ocorre a contratação de um operador adicional, estabilizando o quadro em 17 funcionários até o final do horizonte analisado. O custo total associado a esse cenário é de R\$ 1.728.250,54, representando uma redução inferior à observada no cenário pessimista, porém compatível com o maior nível de produção previsto.

Comparado com o cenário pessimista, o PAP dota um número maior de operadores fixos, reduzindo a quantidade relativa de subcontratação. Ainda assim, a subcontratação é

utilizada de forma regular no decorrer dos meses 2 e 11, onde varia de 614 a 2.515 toneladas, acompanhando os picos sazonais previstos na demanda. Esse cenário reflete um equilíbrio: o modelo evita custos excessivos de contratação, mas também uma equipe maior que no cenário pessimista para reduzir o uso intensivo de subcontratação. Do ponto de vista gerencial, o uso de subcontratação, embora economicamente atrativo, pode exigir cuidados adicionais relacionados à padronização operacional e à consistência da qualidade ao longo do processo produtivo.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o cenário otimista a partir da aplicação do modelo do PAP, evidenciando o dimensionamento da força de trabalho, os volumes de produção interna e subcontratada e o custo total associado ao horizonte de planejamento analisado.

Tabela 6 – PAP cenário otimista

Período	Contratados	Demitidos	Força de trabalho	Produção em Subcontratação	Produção	Demanda produção
0			26			
1	0	3	23	0	23.204,78	23.204,78
2	0	0	23	1.301	24.506,25	24.506,25
3	0	0	23	2.080	25.285,23	25.285,23
4	0	1	21	0	21.054,88	21.054,88
5	0	0	21	0	21.709,38	21.709,38
6	0	0	21	0	21.779,69	21.779,69
7	1	0	22	0	22.356,38	22.356,38
8	0	0	22	855	23.613,06	23.613,06
9	0	0	22	1.936	24.693,81	24.693,81
10	0	0	22	2.516	25.273,51	25.273,51
11	0	0	22	614	23.372,44	23.372,44
12	0	0	22	0	22.757,97	22.757,97
Custo Total						R\$ 2.145.594,15

Fonte: Autor (2025)

No cenário otimista, observa-se a maior necessidade de capacidade interna dentre os cenários avaliados. Conforme indicado na Tabela 6, a força de trabalho ótima é inicialmente reduzida de 26 para 23 operadores e, de forma semelhante aos demais cenários, ocorre a demissão de dois funcionários no quarto período, seguida da contratação de um operador adicional no sétimo período. Ao longo do horizonte de planejamento, o modelo mantém um

quadro de pessoal mais elevado para acompanhar a maior demanda prevista, resultando em um custo operacional total de R\$ 2.145.594,15, valor aproximadamente R\$ 239.588,91 inferior ao custo observado no cenário atual da empresa.

Semelhante aos outros dois cenários, o volume por subcontratação também aumenta para atender à demanda ampliada atingindo de 614,47 a 2.515 toneladas nos meses de maior produção. Esse cenário demonstra que diante de demanda elevada, o PAP amplia tanto a capacidade interna quanto o uso complementar de subcontratação, buscando garantir atendimento total ao menor custo possível.

A comparação entre cada cenário demonstra que o dimensionamento da força de trabalho varia em relação a demanda, mas ambas possuem um padrão de visualização, demonstrando que o modelo responde de maneira consistente a essa variação, ajustando a equipe interna apenas quando necessário e utilizando a subcontratação sindicalizada para suavizar picos de sazonalidade e lacunas temporárias de produção. Também é possível observar em um panorama geral, que o sistema atual da empresa com 26 funcionários gera gastos excessivos de ociosidade, sendo necessário a reformulação imediata na força de trabalho interna.

Em totalidade, a integração entre modelos de previsão e otimização demonstrou que a força de trabalho no ambiente estudado, é altamente sensível a oscilações da demanda prevista e que pequenas alterações na projeção, possuem impacto direto nas decisões ótimas de dimensionamento da equipe. O uso de múltiplos cenários, permite que o gestor visualize faixas operacionais realistas, fornecendo apoio robusto para decisões de contratação e negociações sindicais e definição de níveis de terceirização em ambiente industrial sujeito a sazonalidade.

Do ponto de vista gerencial, o cenário base se mostra o mais adequado como referência para a tomada de decisão, por representar o comportamento mais provável da demanda e proporcionar um equilíbrio entre redução de custos, estabilidade operacional e menor dependência de subcontratação, embora o cenário pessimista apresente a maior redução de custos, ele está associado ao risco de subdimensionamento da capacidade caso a demanda se concretize acima do esperado, podendo resultar em maior uso emergencial de subcontratação.

Por outro lado, o cenário otimista reduz o risco de insuficiência de capacidade, porém mantém um nível mais elevado de força de trabalho interna, ampliando os custos associados à ociosidade em períodos de menor demanda, dessa forma, a análise conjunta dos cenários evidencia que a adoção do cenário base, acompanhada do monitoramento contínuo da demanda

e do uso pontual da subcontratação como mecanismo de flexibilidade, tende a oferecer o melhor compromisso entre custo, risco operacional e robustez do planejamento.

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade do uso da integração entre modelos preditivos de machine learning e do PAP como suporte para dimensionamento da força de trabalho em ambientes industriais caracterizados por alta variabilidade de demanda, essa abordagem se insere no paradigma predict-and-optimize, o qual conforme discutido por Elmachtoub & Grigas (2022), representa uma evolução das estruturas tradicionais de planejamento ao conectar diretamente previsões a decisões operacionais, ampliando a capacidade do sistema produtivo de responder de forma mais coerente à incerteza inerente às oscilações da demanda. No caso analisado, essa integração mostrou-se operacionalmente viável, uma vez que as previsões geradas serviram diretamente como insumo para o modelo de PAP, impactando de forma mensurável as decisões de contratação, demissão e subcontratação apresentadas nos cenários avaliados.

Na etapa de previsão, o XGBoost apresentou uma superioridade em relação a outros modelos, destacando que o modelo consegue capturar bem relações não lineares em dados operacionais com muitos ruídos (Chen & Guestrin, 2016). O desempenho do MLP confirma o potencial das redes de aproximar funções complexas quando feito o uso correto de parâmetros (Zhang et al., 1998), enquanto o desempenho inferior do LSTM apesar de teoricamente favorável para dependências de longo prazo, apresentou erros maiores, sugerindo que esse modelo é mais sensível a ruídos de alta frequência e fortes variações nos dados como demonstrado por Nazeri & Pisu, (2023) em previsões de carga sujeita a ruídos e por Shin et al., (2024) em detecção de anomalias em séries temporais ruidosas. Essas diferenças de desempenho foram observadas diretamente nas métricas de erro obtidas para cada modelo, influenciando a composição do ensemble utilizado como base para a geração dos cenários de demanda.

O uso do ensemble ponderado pelo inverso do RMSE mostrou-se funcional para o caso aplicado, estratégia essa reforçada por Sun et al, (2017), que demonstrou que a ponderação baseada no erro reduz a variabilidade e melhora a precisão global, consolidando a superioridade de modelos combinados em relação aos isolados. No contexto do estudo, essa estratégia contribuiu para a obtenção de previsões mais estáveis, reduzindo oscilações abruptas entre períodos consecutivos e proporcionando maior consistência às decisões do PAP.

A integração de modelos de previsão ao PAP, demonstrou alta sensibilidade nas decisões ótimas à variabilidade da demanda, demonstrando que a subcontratação se mostra mais eficiente do que a reorganização da capacidade interna ociosa para conseguir suprir a volatilidade e picos de demanda, comportamento este semelhante ao que aponta Qin (2015), onde é destacado que a terceirização é uma estratégia economicamente mais vantajosa em ambientes sem estoques reguladores e com elevada incerteza. De forma complementar Mieghem & Rudi (2022) demonstram que a subcontratação tende a apresentar um desempenho econômico superior em relação a custos de contratação e demissão, reforçando a menor atratividade da ociosidade permanente em relação ao PAP. Essa sensibilidade ficou evidente nos três cenários analisados, nos quais variações relativamente pequenas no nível de demanda prevista resultaram em diferenças significativas no dimensionamento ótimo da força de trabalho e no volume de subcontratação adotado.

A relevância prática do estudo é reforçada pelo contexto do setor de fertilizantes brasileiro, marcado por elevada dependência de importações e forte sazonalidade da demanda (ANDA, 2025), o que amplia a necessidade de ferramentas preditivo-analíticas capazes de antecipar ajustes de capacidade em horizontes médios de planejamento. Os resultados obtidos evidenciam que a metodologia proposta permite ao gestor visualizar antecipadamente os impactos dessas variações sazonais sobre a força de trabalho, apoiando decisões mais estruturadas de médio prazo.

Como limitação, o estudo apresenta um caráter determinístico na formulação do modelo de PAP, não incorporando explicitamente a incerteza da demanda na função objetivo ou nas restrições do modelo, o que implica que os efeitos da variabilidade foram avaliados por meio de cenários discretos e não de forma probabilística contínua. Além disso, a análise foi conduzida com dados provenientes de uma única planta industrial, o que pode restringir a generalização direta dos resultados para contextos produtivos com diferentes estruturas de custo, arranjos operacionais ou regimes contratuais.

Outra limitação relevante refere-se à ausência de variáveis exógenas no processo preditivo, como oscilações nos custos de insumos, volatilidade cambial e restrições logísticas, fatores que podem influenciar tanto a demanda quanto as decisões ótimas de dimensionamento da força de trabalho. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como representativos do contexto analisado, ainda que forneçam evidências consistentes sobre o comportamento do sistema frente à variabilidade da demanda e indiquem caminhos promissores para pesquisas

futuras, como a adoção de abordagens estocásticas ou robustas no PAP e a utilização de suas decisões agregadas como insumo para o detalhamento do Plano Mestre de Produção (PMP).

Por fim, os resultados demonstraram que a integração entre modelos preditivos avançados e otimização linear constitui um instrumento eficaz para decisões táticas de dimensionamento da força de trabalho, oferecendo suporte ao planejamento em ambientes produtivos sujeitos à elevada variabilidade e restrições operacionais. Ao conectar diretamente previsões quantitativas ao PAP, o estudo evidencia de forma empírica como variações na demanda prevista se traduzem em ajustes no quadro de pessoal e no uso de subcontratação.

A análise dos três cenários reforça essa sensibilidade, ao mostrar que pequenas diferenças nos níveis de demanda resultam em impactos relevantes nos custos totais e nos riscos de ociosidade ou subcapacidade. Do ponto de vista gerencial, a abordagem permite ao gestor avaliar previamente esses trade-offs e definir estratégias mais equilibradas, enquanto, sob a ótica científica, o trabalho contribui para a literatura ao aplicar o paradigma predict-and-optimize ao PAP, ampliando a compreensão sobre a relação entre incerteza preditiva e decisões de capacidade.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma abordagem integrada para apoiar decisões do PAP em uma indústria de fertilizantes, combinando métodos de previsão de demanda baseados em aprendizagem de máquina ao modelo do PAP, aplicado ao dimensionamento da força de trabalho. A utilização dos modelos MLP, LSTM e XGBoost, seguida da construção de um ensemble ponderado, possibilitou capturar adequadamente a tendência, sazonalidade e variabilidade da série histórica, fornecendo previsões consistentes para a elaboração de cenários para o modelo do PAP, esses cenários ampliam a robustez do processo decisório ao incorporar explicitamente a incerteza da demanda prevista.

Ao realizar a comparação do cenário atual da empresa com o resultado dos cenários, foi possível visualizar que as decisões ótimas sugeridas pelo modelo podem gerar reduções significativas no custo de R\$ 1.062.148,92 (aproximadamente 44,5%) para o cenário pessimista, R\$ 656.932,52 (cerca de 27,5%) no cenário base e R\$ 239.588,91 (em torno de 10,0%) no cenário otimista. Os resultados indicam que, dada a estrutura de custos e restrições consideradas, o modelo tende inicialmente a readequar o quadro de funcionários e a utilização de mão de obra terceirizada para suavizar picos de demanda ao longo do tempo, realizando

ajustes graduais no decorrer do período avaliado.

O estudo demonstra contribuições práticas e acadêmicas ao evidenciar a eficácia da abordagem predict-and-optimize no contexto industrial analisado, contudo, o PAP, por operar em horizontes temporais mais amplos, tipicamente anuais ou mensais, e em nível agregado, apresenta limitações quanto ao detalhamento operacional, nesse sentido, abre-se espaço para trabalhos futuros que utilizem suas decisões como base para o desdobramento em níveis mais detalhados de planejamento, como o Plano Mestre de Produção (PMP) diários, bem como para o desenvolvimento de estruturas hierárquicas ou híbridas que permitam incorporar, de forma progressiva, aspectos de capacidade, sequenciamento e restrições operacionais com maior grau de especificação. Além disso, recomenda-se a inclusão de variáveis que possam impactar o modelo, assim como o uso de modelos probabilísticos de previsão e formulações mais robustas de planejamento, capazes de incorporar explicitamente a incerteza da demanda na própria estrutura matemática. Esses avanços podem ampliar ainda mais a precisão das decisões e fortalecer o suporte analítico às operações do setor de produção de fertilizantes.

REFERÊNCIAS

- Abbasimehr, H., Paki, R., & Bahrini, A. (2023). A novel XGBoost-based featurization approach to forecast renewable energy consumption with deep learning models. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 38, 100863.
- ANDA: Associação Nacional Para Difusão de Adubos. Disponível em: <https://anda.org.br/wp-content/uploads/2025/03/Comentarios.pdf>. (2025)
- Bertsimas, D., & Kallus, N. (2020). From predictive to prescriptive analytics. *Management Science*, 66(3), 1025-1044.
- Bontempi, G., Ben Taieb, S., & Le Borgne, Y. A. (2012). Machine learning strategies for time series forecasting. In *European Big Data Management and Analytics Summer School* (pp. 62-77). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Cepea/Esalq-USP & CNA. (2025). PIB do Agronegócio – Sumário Executivo do 4º Trimestre de 2024. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, & Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 785-794).
- Cheraghlikhani, A., Khoshalhan, F., & Mokhtari, H. (2019). Aggregate production planning: A literature review and future research directions. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10(2), 309-330.
- Cunha, B. A. D. (2021). Previsão intra-diária de geração fotovoltaica usando redes neurais recorrentes do tipo LSTM e dados históricos de energia.
- Dias, V. P., & Fernandes, E. (2006). *Fertilizantes: uma visão global sintética*.
- Elmachtoub, A. N., & Grigas, P. (2022). Smart “predict, then optimize”. *Management Science*, 68(1), 9-26.

- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). *Deep learning* (Vol. 1, No. 2). Cambridge: MIT press.
- Greff, K., Srivastava, R. K., Koutník, J., Steunebrink, B. R., & Schmidhuber, J. (2016). LSTM: A search space odyssey. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 28(10), 2222-2232.
- Gneiting, T., & Katzfuss, M. (2014). Probabilistic forecasting. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 1(1), 125-151.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, 75-105.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts.
- Kadioglu, M. A., & Alatas, B. (2023). Enhancing Call Center Efficiency: Data Driven Workload Prediction and Workforce Optimization. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 24, 96-100.
- Karim, F., Majumdar, S., Darabi, H., & Harford, S. (2019). Multivariate LSTM-FCNs for time series classification. *Neural networks*, 116, 237-245.
- Khalid, W., Albrechtsen, S. H., Sigsgaard, K. V., Mortensen, N. H., Hansen, K. B., & Soleymani, I. (2021). Predicting maintenance work hours in maintenance planning. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(2), 366-384.
- Khashei, M., & Bijari, M. (2010). An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting. *Expert Systems with applications*, 37(1), 479-489.
- Kontopoulou, V. I., Panagopoulos, A. D., Kakkos, I., & Matsopoulos, G. K. (2023). A review of ARIMA vs. machine learning approaches for time series forecasting in data driven networks. *Future Internet*, 15(8), 255.
- Maciel, L. M., & Tunes, L. D. (2021). A importância dos fertilizantes para a agricultura The importance of fertilizers for agriculture. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 58647-58658.
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of forecasting*, 34(4), 802-808.
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PloS one*, 13(3), e0194889.
- Meistering, M., & Stadler, H. (2015). *Operations & Supply Chain Management*. Working paper.
- Mieghem, J. A. V., & Rudi, N. (2002). Newsvendor networks: Inventory management and capacity investment with discretionary activities. *Manufacturing & Service Operations Management*, 4(4), 313-335.
- Mishra, K. M., & Huhtala, K. J. (2019, September). Fault detection of elevator systems using multilayer perceptron neural network. In *2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)* (pp. 904-909). IEEE.
- Montero-Manso, P., Athanasopoulos, G., Hyndman, R. J., & Talagala, T. S. (2020). FFORMA: Feature-based forecast model averaging. *International Journal of Forecasting*, 36(1), 86-92.
- Muth, M., Lingenfelder, M., & Nufer, G. (2024). The application of machine learning for demand prediction under macroeconomic volatility: a systematic literature review. *Management review quarterly*, 1-44.
- Nazeri, A., & Pisu, P. (2023). LSTM-based Load Forecasting Robustness Against Noise Injection Attack in Microgrid. *arXiv preprint arXiv:2304.13104*.
- OECD & FAO. (2020). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020–2029*. OECD Publishing/FAO. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>
- Qin, R., Nembhard, D. A., & Barnes II, W. L. (2015). Workforce flexibility in operations management. *Surveys in Operations Research and Management Science*, 20(1), 19-33.
- Qin, Y., Song, D., Chen, H., Cheng, W., Jiang, G., & Cottrell, G. (2017). A dual-stage attention-based recurrent neural network for time series prediction. *arXiv preprint arXiv:1704.02971*.
- Reetz, H. F. (2017). *Fertilizantes e seu uso eficiente*. São Paulo: ANDA.

- Sagheer, A., & Kotb, M. (2019). Unsupervised pre-training of a deep LSTM-based stacked autoencoder for multivariate time series forecasting problems. *Scientific reports*, 9(1), 19038.
- Sherstinsky, A. (2020). Fundamentals of recurrent neural network (RNN) and long short-term memory (LSTM) network. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 404, 132306.
- Shin, Y., Na, K. Y., Kim, S. E., Kyung, E. J., Choi, H. G., & Jeong, J. (2024). LSTM-Autoencoder based detection of time-series noise signals for water supply and sewer pipe leakages. *Water*, 16(18), 2631.
- Siami-Namini, S., & Namin, A. S. (2018). Forecasting economics and financial time series: ARIMA vs. LSTM. arXiv preprint arXiv:1803.06386.
- Uğur, A., & Buruklar, T. (2022). Effects of Covid-19 pandemic on agri-food production and farmers. *Food Science and Technology*, 42, e19821.
- Stevenson, W. J. (2001). Administração das operações de produção. LTC.
- Van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European journal of operational research*, 226(3), 367-385.
- Wang, C. C. (2025). Dynamic Dual-Phase Forecasting Model for New Product Demand Using Machine Learning and Statistical Control. *Mathematics*, 13(10), 1613.
- Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International journal of forecasting*, 14(1), 35-62.
- Zhang, L., Bian, W., Qu, W., Tuo, L., & Wang, Y. (2021, April). Time series forecast of sales volume based on XGBoost. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1873, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Zhang, Y., & Meng, G. (2023, March). Simulation of an adaptive model based on AIC and BIC ARIMA predictions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2449, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- Žinete, J. (2023). The role of NPK fertilizers in modern agriculture: Fuelling crop growth and maximizing yields. *International Journal of Modern Fertilizers*, 1–8.

**GESTÃO DE DOENÇAS PSICOSSOCIAIS BASEADA EM DADOS:
IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DETERMINANTES E LEVANTAMENTO DE
ESTRATÉGIAS DA LITERATURA**

Felipe Sato Rachid (fsato3596@gmail.com)

Fernando Henrique Lermen (fernando.lermen@unespar.edu.br) - Orientador

Gustavo de Souza Matias (gustavo.matias@unespar.edu.br) - Coorientador

Resumo: Os riscos psicossociais no trabalho têm aumentado significativamente e afetam diretamente a saúde mental e o desempenho dos trabalhadores. Nesse cenário, o problema é a alta incidência de afastamentos por transtornos mentais associados às condições organizacionais. Desta forma, este estudo teve como objetivo identificar, priorizar e levantar estratégias de mitigação dos fatores psicossociais associados aos afastamentos por classificação internacional de doenças relacionadas à saúde mental. Para isso, foi utilizado a metodologia composta por análise estatística, validação cruzada em oito modelos supervisionados, sendo Regressão Logística e Random Forest, interpretados com SHapley Additive exPlanations Values e revisão sistemática da literatura. Como resultados foi possível descrever quais variáveis mais influenciam na predição da classificação internacional de doenças, além disso comparamos os modelos de previsão com as métricas de F1-Score, Acurácia e Área sob a curva, buscando entender a convergência entre modelos e por foi criado uma lista de estratégias para mitigar as doenças psicossociais de acordo com a literatura. Como principal contribuição, o estudo oferece uma priorização dos riscos psicossociais e indica estratégias de mitigação alinhadas à literatura. A originalidade do trabalho reside na integração entre machine learning interpretável, evidências legais, dados reais e revisão sistemática.

Palavras-chave: Riscos psicossociais; Saúde mental no trabalho; Regressão logística.

**DATA-DRIVEN MANAGEMENT OF PSYCHOSOCIAL ILLNESSES:
IDENTIFYING KEY DETERMINANTS AND REVIEWING STRATEGIES FROM
THE LITERATURE.**

Abstract: Psychosocial risks in the workplace have increased significantly and directly affect the mental health and performance of workers. In this scenario, the problem is the high incidence of absences due to mental disorders associated with organizational conditions. Therefore, this study aimed to identify, prioritize, and develop strategies to mitigate the psychosocial factors associated with absences due to the International Classification of Diseases related to mental health. To this end, a methodology was used consisting of statistical analysis, cross-validation in eight supervised models (Logistic Regression and Random Forest), interpreted with Shapley Additive exPlanations Values, and a systematic literature review. The results allowed us to describe which variables most influence the prediction of the International Classification of Diseases. Furthermore, we compared the prediction models with the metrics of F1-Score, Accuracy, and Area under the Curve, seeking to understand the convergence between models, and thus created a list of strategies to mitigate psychosocial illnesses according to the literature. As a main contribution, the study offers a prioritization of psychosocial risks and indicates mitigation strategies aligned with the literature. The originality of the work lies in the integration of interpretable machine learning, legal evidence, real data, and systematic review.

Keywords: Psychosocial risks; Workplace mental health; Logistic Regression

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as doenças psicossociais têm se tornado cada vez mais perceptíveis no ambiente de trabalho (Schulte et al., 2024). Essas doenças decorrem de fatores como a carga de trabalho excessiva, a falta de controle sobre as tarefas, mudanças frequentes ou mal comunicadas, conflitos interpessoais, assédio moral ou sexual e a ausência de apoio social entre colegas e supervisores (Harvey et al., 2017; Leka e Jain, 2005). Tais condições podem desencadear estresse ocupacional, ansiedade, depressão e outros distúrbios psicológicos e osteomusculares, comprometendo a saúde, a qualidade de vida e o desempenho dos trabalhadores (Lucca & Magalhães, 2024). O número de casos relacionados à saúde mental e aos riscos psicossociais tem aumentado significativamente. De acordo com Casemiro e Moura (2025), em estudo em parceria com o Ministério da Previdência Social, indica-se que os afastamentos por transtornos dessa natureza cresceram 68% em relação a 2023, totalizando 472.328 licenças médicas concedidas. Esses dados reforçam a importância da identificação, priorização e mitigação das doenças psicossociais, com o objetivo de preservar a saúde dos

trabalhadores e assegurar a continuidade das atividades organizacionais.

Os agentes e/ou fatores de risco psicossociais no trabalho são reconhecidos pelo Ministério da Saúde (Portaria GM/MS n.º 1.999/2023) como integrantes da lista de doenças relacionadas ao trabalho. Entre esses fatores destacam-se: a gestão organizacional, o contexto da organização do trabalho, as características das relações sociais no ambiente laboral, o conteúdo das tarefas, as condições do ambiente de trabalho, a interação pessoa-tarefa, a jornada de trabalho, a violência, o assédio moral/sexual, a discriminação, o risco de morte e o trauma ocupacional (Brasil, 2023).

A norma regulamentadora nº 1 (NR-1, Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais), estabelecida pelo ministério do trabalho e emprego (MTE), tem como objetivo estabelecer as disposições gerais, o campo de aplicação, os termos e as definições comuns às normas regulamentadoras (NR) relativas à segurança e saúde no trabalho e as diretrizes e os requisitos para o gerenciamento de riscos ocupacionais e as medidas de prevenção em Segurança e Saúde no Trabalho (Brasil, 2024).

A norma regulamentadora NR-1, cuja atualização entra em vigor em 26 de maio de 2026, estabelece diretrizes importantes para a gestão de riscos no ambiente de trabalho, incluindo os riscos psicossociais (Brasil, 2024). No entanto, por se tratar de uma mudança recente, ainda são limitados os estudos que abordam especificamente a identificação, a priorização e a mitigação desses fatores no contexto ocupacional. Métodos de mitigação já são discutidos na literatura, como os apresentados por Bazaluk et al. (2024), que propõem programas de apoio psicossocial aos funcionários, intervenções baseadas em terapia cognitiva, ações de promoção do bem-estar e iniciativas para garantir o equilíbrio entre trabalho e descanso. Já Aust et al. (2023) identificam como intervenções eficazes a modificação dos arranjos de tempo de trabalho, o aumento do controle e da participação dos trabalhadores, bem como intervenções participativas voltadas à melhoria do ambiente psicossocial.

Nesse sentido este estudo tem como objetivo analisar o impacto das doenças psicossociais no ambiente de trabalho, identificando e priorizando os principais fatores de riscos, e ainda propor métodos eficazes para mitigar seus efeitos negativos sobre a saúde mental de acordo com a literatura, para isso será realizado um levantamento das doenças psicossociais presentes nas Comunicações de Acidente de Trabalho (CAT), identificando os códigos da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) relacionados aos afastamentos por transtornos mentais. A partir dessa identificação inicial, os diagnósticos serão organizados e priorizados, o

que permitirá compreender quais agravos se destacam no cenário ocupacional. Com base nessa priorização, os fatores ocupacionais e organizacionais associados serão analisados para identificar os elementos que mais contribuem para o adoecimento e orientar futuras ações preventivas.

Esta pesquisa busca contribuir para a compreensão dos principais fatores e agentes que influenciam os afastamentos de colaboradores decorrentes de doenças psicossociais. Na etapa teórica, o estudo aplica diferentes métodos de análise de dados, incluindo modelagem estatística, técnicas de aprendizado de máquina, revisão sistemática da literatura e interpretação dos resultados por meio do método SHAP. Na etapa prática, propõe um método aplicado que possibilita a identificação, priorização e mitigação dos riscos e doenças psicossociais no ambiente de trabalho de acordo com a literatura.

Nesse contexto, o artigo se insere no campo da Engenharia do Trabalho, alinhando-se às diretrizes e áreas de atuação da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), ao contribuir para o desenvolvimento de abordagens analíticas e preventivas voltadas à melhoria das condições de trabalho, saúde ocupacional e desempenho organizacional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, é apresentado o referencial teórico necessário para compreensão da temática estudada, abordando dois temas principais: (i) Doenças psicossociais e (ii) Influência das doenças psicossociais no ambiente de trabalho.

2.1. DOENÇAS PSICOSSOCIAIS

As doenças psicossociais são consideradas agravos à saúde mental e física que surgem da interação entre fatores psicológicos, sociais e organizacionais presentes no trabalho, englobando transtornos como ansiedade, depressão, síndrome de burnout e manifestações psicossomáticas (Brasil, 2023). A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que condições laborais adversas, como altas demandas, baixa autonomia, assédio moral e relações de trabalho precárias, elevam significativamente o risco de desenvolvimento dessas doenças e comprometem o bem-estar dos trabalhadores (World Health Organization, 2010).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT, 1986), ao caracterizar os riscos psicossociais, evidencia que tais fatores emergem das interações entre o conteúdo do trabalho,

sua organização, o ambiente laboral e as necessidades individuais dos trabalhadores. Essa compreensão permite entender que as doenças psicossociais são a materialização dos efeitos negativos desses elementos sobre a saúde, manifestando-se quando as exigências do trabalho superam a capacidade adaptativa do indivíduo. Nesse sentido, Leka e Jain (2005) destacam que os aspectos de concepção e gestão do trabalho, quando inadequados, têm potencial direto para causar danos psicológicos ou físicos, contribuindo para o surgimento de quadros depressivos, ansiosos, de estresse crônico e de exaustão emocional.

No ambiente laboral, as doenças psicossociais podem ser consideradas consequências dos chamados “fatores brandos”, apesar de invisíveis e difíceis de mensurar com instrumentos técnicos tradicionais, e podem produzir impactos graves e concretos (Cooper e Cartwright, 1997). Como observa Portuné (2012), a ausência de dispositivos mecânicos que indiquem a presença dessas condições não elimina seus efeitos, que se manifestam profundamente na saúde mental, no bem-estar e até na capacidade funcional do trabalhador. Dessa forma, mesmo não sendo imediatamente perceptíveis, as doenças psicossociais representam um problema crescente e relevante para organizações e sistemas de saúde, exigindo estratégias preventivas, diagnósticas e interventivas adequadas.

2.2. INFLUÊNCIA DAS DOENÇAS PSICOSSOCIAIS NO AMBIENTE DE TRABALHO

As doenças psicossociais exercem influência significativa sobre o ambiente de trabalho, afetando tanto o desempenho individual quanto os processos coletivos das organizações (World Health Organization, 2010). Segundo Cooper e Cartwright (1997), transtornos como depressão, ansiedade e estresse crônico afetam diretamente a capacidade de concentração, a tomada de decisão e o funcionamento emocional dos trabalhadores, o que repercute na qualidade das tarefas e na segurança operacional.

Um dos impactos mais discutidos na literatura é o aumento do absenteísmo e do presenteísmo. De acordo com Johns (2010), o presenteísmo, isto é, o fato do trabalhador permanecer ativo mesmo adoecido, é tão prejudicial quanto o absenteísmo, pois reduz drasticamente o desempenho e aumenta a probabilidade de erros e acidentes. Além disso, Harvey et al. (2017) evidenciaram que trabalhadores expostos a doenças psicossociais

apresentam maior vulnerabilidade a afastamentos prolongados, o que resulta em elevação dos custos e afeta negativamente as relações interpessoais.

Para Bakker e Demerouti (2017), ambientes com alta incidência de sofrimento psicológico tendem a apresentar maiores índices de conflitos, perda de coesão grupal e queda na cooperação, especialmente em setores de alta pressão e de trabalho emocional intensivo. Esse cenário é agravado pela redução do engajamento e da satisfação no trabalho, fatores que, possuem relação direta com a presença de transtornos mentais comuns, organizacionais e redistribuição desigual de demandas entre as equipes.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta seção está dividida em quatro fases: (i) levantamento de dados, (ii) filtragem de dados, (iii) análise e priorização de dados e (iv) estratégias de mitigação. A pesquisa é classificada como método misto (Venkatesh et al., 2013), quantitativa pela análise de dados e qualitativa pelo levantamento de medidas preventivas da literatura.

3.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o levantamento de dados sobre afastamentos do trabalho relacionados a riscos psicossociais foi realizado em âmbito nacional. Para isso, utilizou-se a plataforma oficial disponibilizada pelo portal do governo federal “portal de dados abertos” (Brasil, 2025), na qual encontrou-se os bancos de dados com todas as comunicações de acidente de trabalho (CAT), no período entre julho de 2023 e maio de 2025, no formato CSV, extraídas do Sistema Único de Informações de Benefícios (SUIBE).

O conjunto de dados disponibiliza indicadores concedidos pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) que contêm informações sobre as seguintes categorias: agente causador do acidente, data do acidente, classificação brasileira de ocupações (CBO) (código e nome), classificação internacional de doenças. CID-10 (código e nome), classificação nacional de atividades econômicas (CNAE) 2.0 empregador (código e nome), emitente CAT, espécie de benefício, filiação do segurado, indica óbito acidentado, munic. empregador, natureza da lesão, origem do cadastramento da CAT, parte do corpo atingida, sexo, tipo de acidente, UF munic. do acidente, UF munic. do empregador, data de afastamento, data do despacho do benefício

(DDB), data do acidente, data de nascimento e data da emissão da CAT. A Tabela 1 apresenta uma descrição das principais categorias utilizadas neste estudo.

Tabela 1 - Descrição das principais categorias

Categorias	Descrição	Exemplo / Observação
CID-10	Classificação Internacional de Doenças. Indica por que doença o trabalhador foi afastado.	F41 - Outros transtornos ansiosos
CBO	Código Brasileiro de Ocupação. Serve para identificar a função exercida pelo trabalhador.	CBO 3222-05 – Técnico de Enfermagem.
CNAE	Código da Classificação Nacional de Atividades Econômicas do empregador. Identifica o ramo de atividade da empresa em que ocorreu o vínculo ou o acidente.	CNAE 8610-1/01 – Atividades Hospitalares (empregador do setor hospitalar).
EMITENTE	Indica quem emitiu a Comunicação/Documento (por exemplo, CAT). Identifica a origem da declaração sobre a doença ou acidente.	Empregador (a própria empresa emite); Sindicato (representação do trabalhador); Segurado/Dependente (a própria pessoa procura emitir).

Fonte: Autoria Própria (2025)

3.2. FILTRAGEM DE DADOS

A etapa de filtragem dos dados foi conduzida no Microsoft Excel, utilizando filtros simples nos bancos de dados mensais. Esses filtros permitiram selecionar os registros que contêm os CIDs pertinentes ao escopo da pesquisa. Após essa triagem inicial, os dados foram transferidos para um banco de dados definitivo onde todos os bancos mensais foram unidos, com o objetivo de consolidar as informações relevantes de forma organizada e padronizada.

Os CIDs selecionados inicialmente são apresentados na Tabela 2, incluindo códigos associados a transtornos mentais e comportamentais frequentemente relacionados a riscos psicossociais no trabalho.

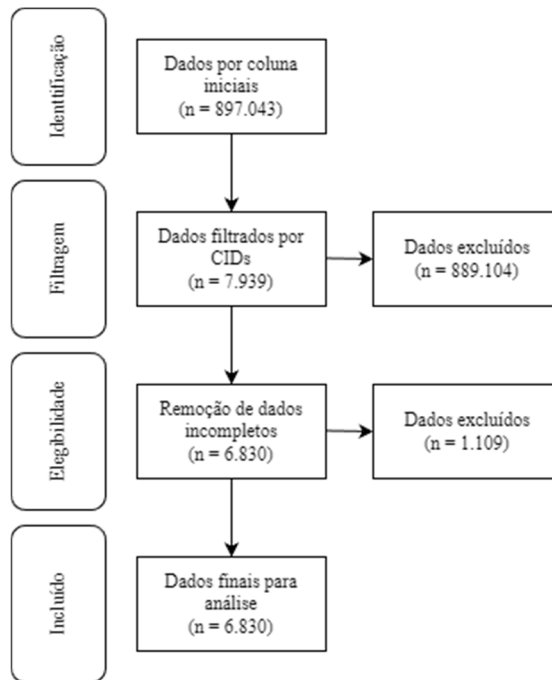
Tabela 2 - Códigos do CID-10 considerados.

CID - 10	Descrição	CID - 10	Descrição
F41	Outros transtornos ansiosos	F40	Transtornos de ansiedade
Z73	Problemas relacionados com a organização de seu modo de vida	F90	Transtornos hipercinéticos – Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH)
F43	Reações ao “stress” grave e transtornos de adaptação	F60	Transtornos específicos da personalidade
F32	Episódios depressivos	F51	Transtornos não-orgânicos do sono devidos a fatores emocionais
Z56	Problemas relacionados com o emprego e com o desemprego	F34	Transtornos de humor [afetivos] persistentes
F33	Transtorno depressivo recorrente	F48	Outros transtornos neuróticos
F31	Transtorno afetivo bipolar	F91	Distúrbios de conduta (pacientes pediátricos)

Fonte: Autoria Própria (2025)

Durante esse processo, observou-se que muitos registros relacionados à CBO e aos municípios estavam incompletos. Diante disso, foi necessário realizar a busca individual de cada código ausente e a retirada de municípios incompletos, procedimentos realizados com o auxílio da ferramenta Power Query. O processo de filtragem foi realizado conforme o protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), conforme apresentado na Figura 1, adaptada de Page et al. (2021).

Figura 1 - PRISMA protocol



Fonte: Autoria Própria (2025)

Inicialmente, o banco de dados continha cerca de 897.043 registros por coluna. Após a filtragem pelos CIDs listados na tabela 2, restaram 7.939 registros. Posteriormente, com a remoção dos registros com municípios incompletos, obteve-se um total de 6.830 dados válidos para análise.

3.3. ANÁLISE E PRIORIZAÇÃO DE DADOS

Esta etapa metodológica teve como objetivo descrever os procedimentos empregados na preparação, modelagem e interpretação dos dados utilizados na identificação dos fatores associados aos afastamentos laborais por doenças de natureza psicossocial. O processo analítico foi estruturado de forma a garantir consistência estatística, reprodutibilidade e capacidade explicativa, abrangendo desde o tratamento e codificação das variáveis até a análise interpretável dos modelos preditivos.

Como ferramenta para as análises e priorização dos dados, utilizou-se o Google Colab. Inicialmente realizou-se a verificação da frequência das variáveis em todas as categorias, identificando valores pouco representativos que poderiam comprometer a estabilidade dos modelos. Todas as variáveis com menos de vinte ocorrências foram agrupadas em uma variável

denominada "Outros", o que assegurou a robustez estatística das análises subsequentes. Este procedimento segue recomendações de análise exploratória de dados para variáveis categóricas, enfatizando a importância de compreender a distribuição de frequências antes da modelagem (Bailey & Burch, 2024).

Considerando que a maior parte das categorias apresentava variáveis de natureza qualitativa e não apresentava hierarquia, foi aplicado o método de one-hot encoding, que transforma dados qualitativos em binários, possibilitando sua utilização em algoritmos de aprendizado de máquina (James, 2021). O one-hot encoding cria uma variável binária para cada valor de uma variável, permitindo que algoritmos que operam em espaços numéricos contínuos processem dados qualitativos de forma eficiente.

Após essa transformação, o banco de dados final passou a conter 136 variáveis explicativas binárias. As variáveis utilizadas englobaram categorias de aspectos ocupacionais, organizacionais, demográficos e geográficos, incluindo o agente causador do acidente, a CBO, a CID-10, a CNAE 2.0 do empregador, o emitente da CAT, a espécie de benefício, a filiação do segurado, a indicação de óbito, o município do empregador, a parte do corpo atingida, o sexo, o tipo de acidente, a unidade federativa do município do acidente e a unidade federativa do município do empregador.

Em seguida, foi conduzida uma análise exploratória dos diagnósticos presentes na variável CID-10, com o objetivo de identificar padrões de ocorrência e definir a variável-alvo para a modelagem. Essa análise revelou que, entre todas as categorias, na categoria "doença", a variável "Doença" é a mais frequente e representa a maior proporção dos registros válidos. Essa predominância justificou a adoção dessa variável como objetivo de estudo, classe 1 na modelagem preditiva, uma vez que reflete de forma mais consistente os afastamentos relacionados a agravos psicossociais. Enquanto isso, as variáveis "Trajeto" e "Típico" (também da categoria doença) foram consideradas classe 0 (Outros diagnósticos).

A etapa de modelagem estatística e preditiva foi desenvolvida para conciliar a interpretabilidade dos modelos lineares com a flexibilidade dos algoritmos não lineares de aprendizado de máquina. O principal modelo adotado foi a regressão logística, amplamente utilizada para analisar e prever desfechos binários, estimando a probabilidade de um evento com base em múltiplas variáveis independentes. Seu mecanismo baseia-se na função logit e na estimação por máxima verossimilhança, permitindo quantificar o efeito ajustado de cada preditor. É especialmente empregada em pesquisas médicas e epidemiológicas para modelar

associações, controlar confusão e interpretar efeitos por meio de odds ratios (Stoltzfus, 2011; Strømholm et al., 2015).

Em seguida, para avaliar a robustez e a competitividade da regressão logística em relação a métodos mais complexos, realizou-se uma comparação sistemática com outros sete modelos supervisionados amplamente reconhecidos na literatura de machine learning:

- (i) Naive Bayes, método classificador estatístico cuja função é estimar a classe mais provável de um exemplo com base na probabilidade a posteriori da classe condicionada às variáveis preditoras (Rish, 2001);
- (ii) Support Vector Machine (SVM) - algoritmo de aprendizado supervisionado utilizado em tarefas de classificação, fundamentado na construção de um hiperplano ótimo capaz de separar classes maximizando a margem entre os pontos de dados mais próximos, conhecidos como vetores de suporte (Pradhan, 2012);
- (iii) Decision Tree (Árvore de Decisão) - modelo de aprendizado supervisionado utilizado em tarefas de classificação e regressão, que assume a forma de uma estrutura hierárquica composta por nós de decisão, que representam testes em atributos, ramos, que indicam os resultados desses testes, e nós folha, que correspondem às classes ou valores preditos (Gupta et al., 2017);
- (iv) Random Forest - modelo de aprendizado supervisionado do tipo ensemble, construído a partir da agregação de múltiplas Árvores de Decisão geradas de forma aleatória, o método cria diversas árvores independentes a partir de subconjuntos de dados e de atributos selecionados aleatoriamente, combinando suas previsões por meio de votação para classificação ou média para regressão (Rigatti, 2017);
- (v) XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) - modelo de aprendizado supervisionado, no qual preditores fracos, tipicamente árvores de decisão são construídos de forma sequencial para corrigir os erros dos modelos anteriores, resultando em um ensemble altamente eficiente e robusto (Chen et al., 2015);
- (vi) Multi-Layer Perceptron (MLP) - modelo de rede neural artificial composto por múltiplas camadas de neurônios organizadas em uma arquitetura feed-forward, incluindo uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída. Seu processo de aprendizagem ocorre por meio do algoritmo de retropropagação do erro (backpropagation), no qual os pesos das conexões são ajustados iterativamente a partir do erro entre o valor previsto e o valor real, utilizando funções de ativação não lineares (Yulita et al., 2021);

- (vii) TabNet - arquitetura moderna de rede neural profunda desenvolvida especificamente para dados tabulares, distinguindo-se por combinar alto desempenho com interpretabilidade intrínseca. O modelo utiliza um mecanismo de atenção sequencial e de seleção de features por instância, permitindo que, a cada passo de decisão, apenas as características mais relevantes sejam consideradas, promovendo esparsidade e eficiência no aprendizado (Arik & Pfister, 2021).

Todos os modelos foram configurados sob as mesmas condições experimentais e avaliados por meio de validação cruzada estratificada com cinco dobras (5-fold stratified cross-validation). Widodo et al., (2022) evidencia que o aumento do número de dobras (K) na validação cruzada estratificada leva a uma melhoria na avaliação do modelo; este procedimento garante que a distribuição relativa de frequências das classes seja mantida em todos os subconjuntos, reduzindo a variabilidade nas estimativas de desempenho e permitindo avaliações mais robustas.

Para cada modelo, foram estimadas métricas de desempenho amplamente reconhecidas na literatura, incluindo Acurácia que é a razão total de observações que o modelo acertou e o número total de observações que o modelo previu, F1-Score é considerada a média harmônica entre a precisão e a sensibilidade, Área sobre a curva ROC (AUC) representa o grau ou medida de separabilidade do modelo, informando o quanto o modelo é capaz de distinguir entre classes (Junior et al., 2022).

A interpretação foi conduzida por meio do método SHAP (SHapley Additive exPlanations), técnica derivada da teoria dos jogos cooperativos, que quantifica a contribuição individual e marginal de cada variável na predição do modelo (Antwarg et al., 2021), em comparação com os coeficientes mais influentes na predição gerados pela regressão logística. Essa análise teve como finalidade avaliar a consistência dos fatores identificados por modelos de natureza distinta (linear vs. ensemble não-paramétrico), garantindo maior confiabilidade às conclusões.

Um aspecto crítico da análise foi a prevenção de data leakage (vazamento de dados), um problema em que informações de teste contaminam o treinamento, resultando em estimativas de desempenho enviesadas. Para as análises de interpretabilidade (SHAP), as colunas associadas a diagnósticos do CID-10 foram removidas do conjunto de preditores, a fim de evitar que o modelo utilizasse informações diagnósticas diretas para prever o desfecho "doença".

Além disso, foi realizada uma análise específica por grupo de diagnóstico (CID-10), com foco nos principais agravos psicossociais identificados no conjunto de dados: F41 (Outros transtornos ansiosos), Z73 (Problemas relacionados à organização do modo de vida), F43 (Reações ao "stress" grave e transtornos de adaptação), F32 (Episódios depressivos), Z56 (Problemas relacionados com o emprego e o desemprego), F33 (Transtorno depressivo recorrente) e F31 (Transtorno afetivo bipolar).

Para cada diagnóstico selecionado, o conjunto de dados foi filtrado e utilizado em uma nova iteração de modelagem com o random forest, na qual foram calculadas as importâncias SHAP específicas para o grupo clínico correspondente. Essa etapa teve como objetivo identificar, as variáveis mais relevantes associadas às categorias CNAE do empregador, CBO do trabalhador e Emitente da CAT, permitindo compreender o papel relativo dessas dimensões ocupacionais e organizacionais na probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de doenças psicossociais.

3.4. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

Com os fatores de risco priorizados a partir da análise estatística dos dados coletados, realizou-se uma revisão sistemática da literatura que seguiu rigorosamente as diretrizes PRISMA (Page et al., 2021), visando ao levantamento de estratégias para mitigação dos riscos psicossociais. A metodologia de revisão foi cuidadosamente estruturada em duas etapas principais para garantir a robustez dos resultados: (i) as fases de triagem e de elegibilidade para a seleção dos artigos mais relevantes, subsequentes à coleta de dados na plataforma Web of Science; e (ii) a análise qualitativa de conteúdo.

Utilizou-se exclusivamente a base de dados Web of Science – Core Collection, reconhecida por sua abrangência e pelos estritos critérios de indexação, o que assegura a qualidade e a relevância dos documentos analisados (Birkle et al., 2020). Na base, foi empregada a string: (*"workplace" OR "work environment" OR "work setting" OR "occupational environment" OR "organizational environment" OR "organizational climate" OR "occupational context" OR "work organization" OR "job demands" OR "occupational stress" OR "work-related stress"*) AND (*"anxiety disorders" OR "stress-related disorders" OR "depressive episodes" OR "recurrent depressive disorder" OR "bipolar disorder" OR "lifestyle management" OR "employment problems" OR "workplace conditions"*) AND (*strategies OR*

solution "organizational strategies" OR "organizational interventions" OR "workplace interventions" OR "corporate programs" OR "occupational health strategies" OR "employee wellbeing programs" OR "mental health promotion" OR "prevention strategies" OR "workplace health management" OR "psychosocial risk management"))), a busca inicial resultou em 230 documentos.

O processo de filtragem seguiu as seguintes etapas: inicialmente, foram considerados apenas artigos completos, totalizando 192 documentos. Desses, 97 foram excluídos por não se enquadrarem nas categorias de saúde ocupacional, psiquiatria, enfermagem e ciência e serviços de saúde. Assim, permaneceram 95 documentos nessas categorias, dos quais 21 foram excluídos por não atenderem ao critério de serem dos últimos 10 anos. Em seguida, restaram 74 documentos. Após a leitura dos títulos, resumos e, posteriormente, a leitura completa dos textos, obteve-se uma amostra final composta por 21 documentos.

Por fim, a segunda etapa do fluxo metodológico foi a análise de conteúdo. Esta fase seguiu a sequência sugerida por Kyngäs et al. (2019): codificação aberta, categorização e abstração. Através destas etapas, procuramos identificar informações relevantes por meio de um processo dedutivo, por meio da codificação da amostra estudada. Os resultados foram analisados em uma única categoria (estratégia). Na abstração, foram listadas as estratégias e relacionadas aos autores que as identificaram ou mencionaram em seus estudos.

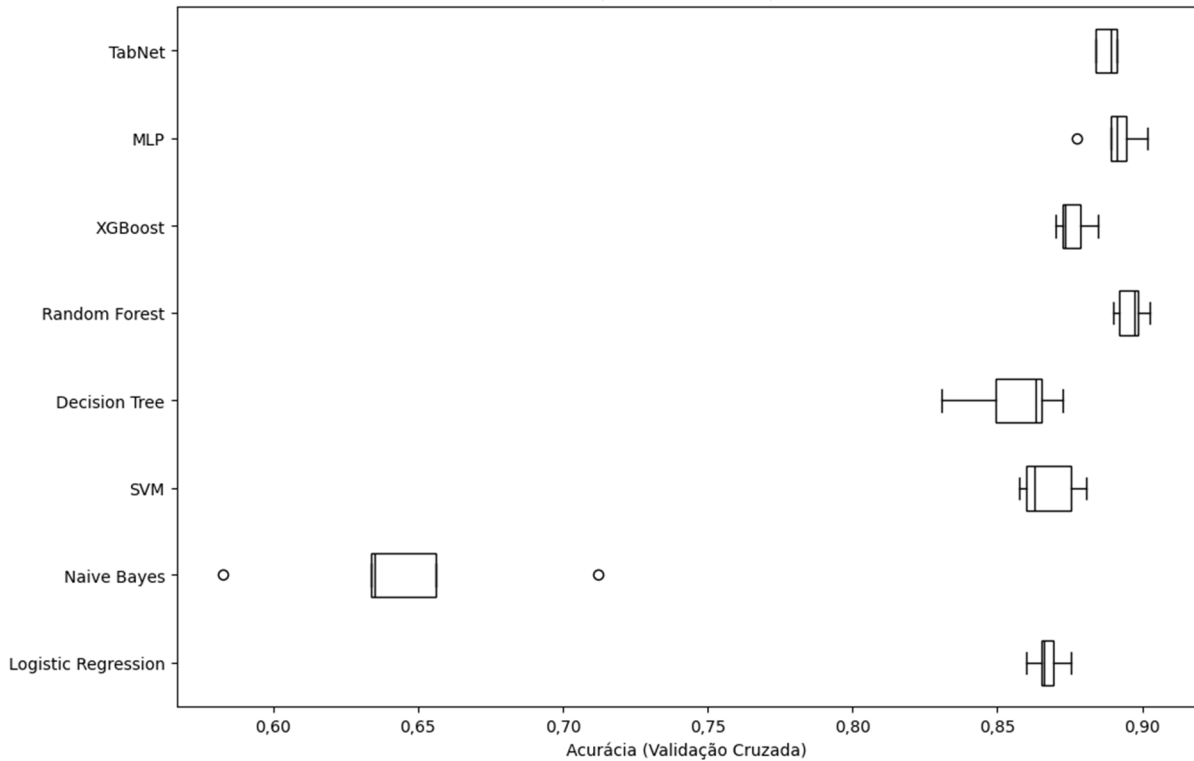
Essas análises forneceram evidências para a priorização dos fatores de risco mais relevantes, permitindo a identificação de perfis ocupacionais mais suscetíveis, de padrões de afastamento mais recorrentes e de causas predominantes. Com base nessas evidências, as estratégias preventivas foram direcionadas às necessidades específicas de cada grupo de trabalhadores afetados. Além disso, podem ser adotadas estratégias de mitigação para reduzir ou até eliminar os efeitos adversos associados aos riscos identificados (Corlatti et al., 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação comparativa dos oito modelos supervisionados foi realizada por meio de validação cruzada estratificada com cinco dobras (folds), gerando distribuições de desempenho representativas da capacidade preditiva de cada abordagem em dados não vistos. A Figura 2

apresenta os box plots das acurácias médias obtidas para cada modelo, permitindo a visualização simultânea da tendência central, da variabilidade e da presença de outliers.

Figura 2 - Boxplot de acurácia dos modelos.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A avaliação do desempenho dos modelos considerou não apenas a acurácia média final, mas também a variabilidade entre os folds obtida durante a validação cruzada. Essa abordagem é fundamental, uma vez que modelos com médias semelhantes podem apresentar comportamentos substancialmente distintos quanto à estabilidade e à robustez (Jiang & Wang, 2017). Assim, a interpretação conjunta da média e da dispersão permite identificar o modelo com melhor capacidade de generalização.

Embora o MLP tenha apresentado acurácia média de (0,891), sua amplitude interquartil e maior desvio padrão ($\pm 0,008$) entre os folds indicam um desempenho menos estável. Em contraste, o Random Forest, que obteve a maior acurácia média de 0,896, apresentou baixo desvio padrão ($\pm 0,005$), evidenciado por intervalos mais estreitos e menor influência de outliers. Essa característica indica elevada consistência entre as iterações, corroborando a literatura que descreve o Random Forest como um algoritmo intrinsecamente estável devido ao uso de múltiplas árvores independentes e amostragem bootstrap (James, 2013).

O TabNet (0,888) com desvio padrão ($\pm 0,003$) apresentou desempenho competitivo, porém com grande diferença em relação ao Random Forest. Da mesma forma, SVM (0,867) e desvio padrão ($\pm 0,009$) e XGBoost (0,876) e desvio padrão ($\pm 0,005$) apresentaram acurácias intermediárias, mas com variações moderadas.

A Regressão Logística (0,867) com desvio padrão ($\pm 0,005$) apresentou acurácia inferior, porém sua variação também é inferior, o que evidencia comportamento consistente e previsível. Já o Decision Tree (0,856) com desvio padrão ($\pm 0,015$) apresentou maior oscilação nos resultados entre os folds. Por fim, o Naive Bayes apresentou o pior desempenho global (0,644) e o maior desvio padrão ($\pm 0,042$), associados a uma elevada variabilidade. A Tabela 3 apresenta a acurácia, o F1-score, o AUC dos modelos supervisionados.

Tabela 3 - Desempenho comparativo dos modelos supervisionados

Modelo	Acurácia (Desvio padrão)	F1-Score (Desvio padrão)	AUC - ROC (Desvio Padrão)
Logistic Regression	0,867 ($\pm 0,005$)	0,904 ($\pm 0,004$)	0,916 ($\pm 0,010$)
Naive Bayes	0.644 ($\pm 0,042$)	0,681 ($\pm 0,048$)	0,881 ($\pm 0,012$)
SVM	0.867 ($\pm 0,009$)	0,905 ($\pm 0,007$)	0,916 ($\pm 0,011$)
Decision Tree	0.856 ($\pm 0,015$)	0,895 ($\pm 0,012$)	0,893 ($\pm 0,018$)
Random Forest	0.896 ($\pm 0,005$)	0,928 ($\pm 0,003$)	0,928 ($\pm 0,007$)
XGBoost	0.876 ($\pm 0,005$)	0,911 ($\pm 0,003$)	0,926 ($\pm 0,010$)
MLP	0.891 ($\pm 0,008$)	0,925 ($\pm 0,005$)	0,917 ($\pm 0,010$)
TabNet	0.888 ($\pm 0,003$)	0,923 ($\pm 0,002$)	0,920 ($\pm 0,009$)

Fonte: A autoria própria (2025)

Os resultados da Tabela 3 mostram que, de forma geral, todos os modelos supervisionados alcançaram um bom desempenho na tarefa de classificação binária dos afastamentos por doenças psicossociais, com diferenças relevantes em termos de acurácia, F1-Score, AUC e estabilidade na validação cruzada.

O Naive Bayes apresentou o pior desempenho global entre os modelos avaliados (Acurácia = $0,644 \pm 0,042$; F1 = $0,681 \pm 0,048$; AUC = $0,881 \pm 0,012$), resultado compatível com suas limitações em cenários com variáveis correlacionadas e distribuições complexas. A Decision Tree apresentou desempenho intermediário (Acurácia = $0,856 \pm 0,015$; F1 = $0,895 \pm 0,012$; AUC = $0,893 \pm 0,018$), indicando boa capacidade de ajuste, porém com maior variabilidade entre as dobras. O SVM apresentou métricas um pouco melhores (Acurácia = $0,867 \pm 0,009$; F1 = $0,905 \pm 0,007$; AUC = $0,916 \pm 0,011$), o que reflete sua capacidade de maximizar margens e lidar bem com fronteiras complexas entre classes.

Entre os métodos de ensemble, o Random Forest apresentou uma das melhores combinações de desempenho e estabilidade (Acurácia = $0,896 \pm 0,005$; F1 = $0,928 \pm 0,003$; AUC = $0,928 \pm 0,007$). Seus resultados confirmam a eficácia do processo de agregação de múltiplas árvores para reduzir a variância e capturar interações não lineares entre preditores. O XGBoost também obteve bons resultados (Acurácia = $0,876 \pm 0,005$; F1 = $0,911 \pm 0,003$; AUC = $0,926 \pm 0,010$), destacando-se pelo desempenho no AUC, ainda que o F1 esteja ligeiramente inferior ao do Random Forest.

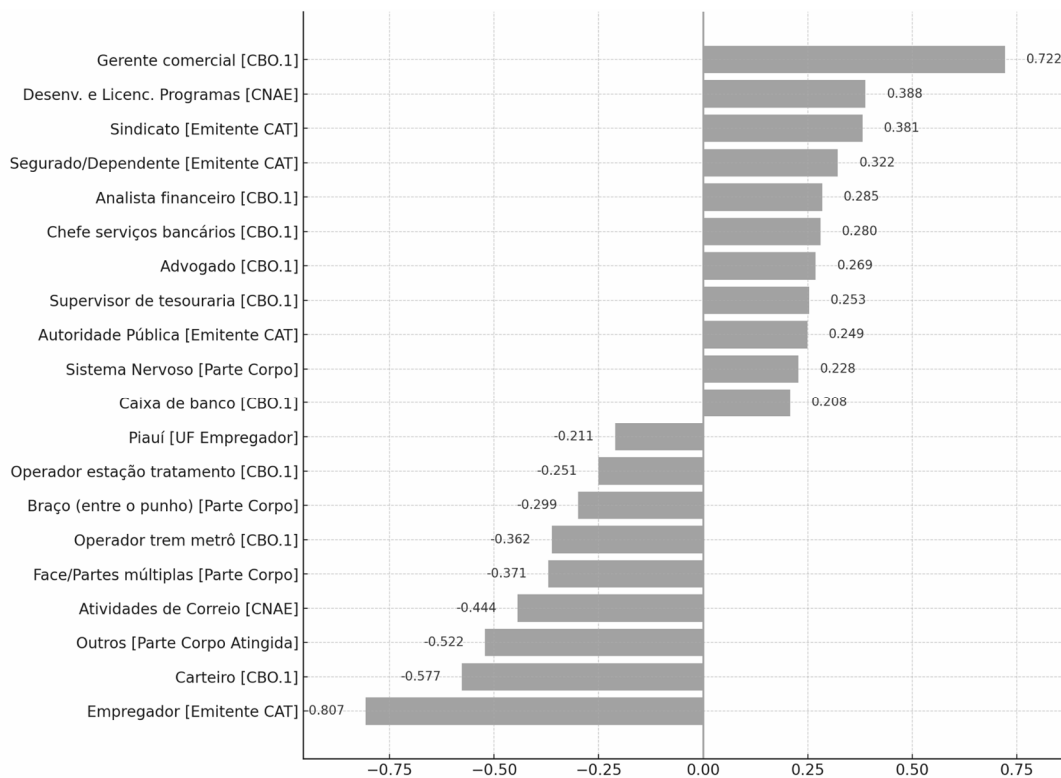
Os modelos baseados em deep learning também se mostraram competitivos. O MLP exibiu um alto desempenho (Acurácia = $0,891 \pm 0,008$; F1 = $0,925 \pm 0,005$; AUC = $0,917 \pm 0,010$), indicando forte capacidade de capturar padrões complexos no conjunto de dados. O TabNet, projetado especificamente para dados tabulares com mecanismos de atenção, também apresentou um alto desempenho porém um pouco abaixo do MLP (Acurácia = $0,888 \pm 0,003$; F1 = $0,923 \pm 0,002$; AUC = $0,920 \pm 0,009$), além de menor dispersão entre as dobras, sugerindo alta consistência estatística e ótimo equilíbrio entre interpretabilidade e desempenho.

Por fim, a Regressão Logística apresentou desempenho sólido (Acurácia = $0,867 \pm 0,005$; F1 = $0,904 \pm 0,004$; AUC = $0,916 \pm 0,010$), com métricas apenas ligeiramente inferiores às dos modelos mais complexos. Sua estabilidade na validação cruzada e alta interpretabilidade justificam seu uso como modelo de referência para a etapa de explicação, especialmente em um contexto de saúde ocupacional, no qual compreender as relações entre fatores psicossociais e afastamentos é tão relevante quanto o desempenho preditivo (Strømholm et al., 2015).

A concordância entre diferentes modelos analíticos é um critério central para a validação da robustez dos preditores aplicados à saúde e segurança do trabalho. Nesse sentido, comparamos a importância das variáveis estimada pelos coeficientes padronizados da Regressão Logística com a derivada dos valores SHAP (SHapley Additive exPlanations)

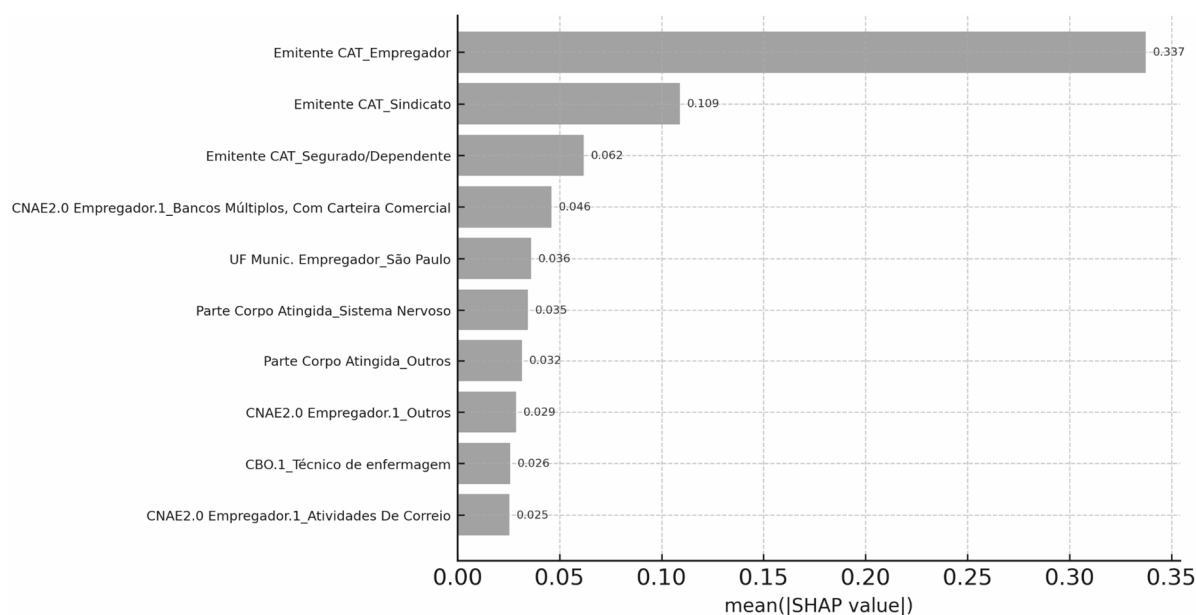
obtidos a partir do modelo Random Forest que apresentou melhores desempenhos nos testes. Essa estratégia permite avaliar a estabilidade dos efeitos tanto em um modelo linear, baseado em relações aditivas entre preditores, quanto em um modelo não linear, baseado em ensembles de árvores de decisão. A Figura 3 apresenta os coeficientes mais influentes na predição por meio de regressão logística. Já a Figura 4 apresenta os coeficientes mais importantes do Random Forest, obtidos via SHAP.

Figura 3 - Coeficientes mais influentes na predição por regressão logística.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 4 - Coeficientes mais importantes obtidos com SHAP do Random Forest.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Conforme observado nas Figuras 3 e 4, a discrepância entre os modelos torna-se evidente ao analisar o comportamento das principais features de cada um. A variável Emitente CAT_Empregador, variável com o valor SHAP absoluto de maior relevância no Random Forest (SHAP = 0,3374; 1ª posição), entretanto, na regressão logística, ocupa igualmente posição extrema, porém com efeito negativo ($\beta = -0,807$). Essa inversão entre magnitude direcional e importância preditiva evidencia que a variável é estruturalmente informativa para o ensemble, embora sua associação ajustada ao desfecho seja negativa. De modo semelhante, Emitente CAT_Sindicato e Emitente CAT_Segurado/Dependente, que emergem como 2ª e 3ª posições no ranking SHAP, deslocam-se para posições intermediárias na regressão ($\beta = 0,381$ e $\beta = 0,322$), demonstrando influência marginal moderada no modelo paramétrico, mas elevada capacidade discriminativa no modelo não linear.

Padrões opostos também são observados. A variável Parte Corpo Atingida_Sistema Nervoso, embora apresente coeficiente logístico expressivo ($\beta = 0,228$), situa-se apenas na 6ª posição do ranking SHAP, superada por variáveis administrativas e categóricas mais centrais para o processo de particionamento das árvores. Em contraste, CNAE2.0 Empregador.1 – Atividades de Correio mantém relativa estabilidade posicional entre os métodos (6ª posição no SHAP e $\beta = -0,444$ na regressão), configurando uma das poucas exceções à tendência de reordenação drástica observada no conjunto de variáveis.

Esse padrão geral de discrepâncias sugere que cada modelo captura dimensões distintas da estrutura dos dados. A Regressão Logística, ao enfatizar a magnitude e a direção dos efeitos

lineares, prioriza relações aditivas e inferência ajustada entre preditores e desfecho (Stoltzfus, 2011). Já o Random Forest, especialmente quando interpretado por meio de valores SHAP, destaca interações, efeitos condicionais e dependências não lineares latentes na base de dados (Nohara et al., 2022). Na Tabela 4, apresentam-se as variáveis de maior importância de cada CID, conforme o SHAP individual.

Tabela 4 - Variáveis com maior importância de SHAP do Random Forest por CID.

CID	Variáveis com maior importância	SHAP médio absoluto
F41 (Outros transtornos ansiosos)	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,0893
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Bancos Múltiplos, com carteira comercial :	0,0696
	[CAT] Emitente CAT_Sindicato	0,0614
	[CBO] CBO.1_Caixa de banco	0,0471
	[CBO] CBO.1_Técnico de enfermagem	0,0314
Z73 (Problemas relacionados à organização do modo de vida)	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,2455
	[CAT] Emitente CAT_Sindicato	0,0888
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Atividades de Correio	0,0422
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Bancos Múltiplos, Com Carteira Comercial	0,0357
	[CBO] CBO.1_Carteiro	0,0267
F43 (Reações ao "stress" grave e transtornos de	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,2478
	[CAT] Emitente CAT_Sindicato	0,1365

adaptação)	[CAT] Emitente CAT_Segurado/Dependente	0,0988
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Atividades De Correio	0,0532
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Bancos Múltiplos, Com Carteira Comercial	0,0315
F32 (Episódios depressivos)	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,2177
	[CAT] Emitente CAT_Sindicato	0,1227
	[CAT] Emitente CAT_Segurado/Dependente	0,0687
	[CBO] CBO.1_Carteiro	0,0485
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Atividades De Correio	0,0455
Z56 (Problemas relacionados com o emprego e o desemprego)	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Atividades De Correio	0,0941
	[CAT] Emitente CAT_Segurado/Dependente	0,0803
	[CBO] CBO.1_Carteiro	0,0686
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Outros	0,0619
	[CBO] CBO.1_Outros	0,0491
F33 (Transtorno depressivo recorrente)	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,1579
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Bancos Múltiplos, Com Carteira Comercial	0,1169
	[CAT] Emitente CAT_Sindicato	0,0637

	[CBO] CBO.1_Outros	0,0544
	[CBO] CBO.1_Gerente de contas	0,0472
F31 (Transtorno afetivo bipolar)	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Outros	0,1113
	[CAT] Emitente CAT_Segurado/Dependente	0,0632
	[CBO] CBO.1_Outros	0,0462
	[CNAE] CNAE2.0 Empregador.1_Atividades De Correio	0,0447
	[CAT] Emitente CAT_Empregador	0,0330

Fonte: Autoria Própria (2025)

A análise conjunta dos diferentes CIDs incluindo F41, Z73, F43, F32 e F33, Z56 e F31, revela um padrão, variáveis administrativas relacionadas ao emitente da CAT e características institucionais do empregador (especialmente CNAEs ligados ao setor financeiro, serviços e atividades de correio) emergem como os preditores mais influentes em todos os grupos diagnósticos. Embora cada CID apresente especificidades, a estrutura dos modelos indica que fatores ocupacionais e organizacionais desempenham papel central na predição dos diferentes desfechos psicossociais. Em praticamente todas as categorias, o Emitente CAT_Empregador ocupa posição de destaque, variando de 0,0893 (F41) a valores significativamente elevados, como 0,2455 (Z73) e 0,2478 (F43), sugerindo que a forma de emissão e de registro institucional do evento concentra grande parte da informação relevante para a modelagem. Esse padrão é reforçado pela recorrência de Emitente CAT_Sindicato e de Emitente CAT_Segurado/Dependente nos CIDs depressivos (F32, F33), ansiosos (F41) e afetivos (F31), indicando que a relação entre trabalhador, empresa e sindicato desempenham papel sistemático nos afastamentos.

Do ponto de vista setorial, CNAEs como bancos múltiplos, com carteira comercial e atividades de correio figuram entre os preditores mais relevantes em praticamente todos os CIDs avaliados, desde quadros ansiosos (F41) até depressivos (F32/F33) e relacionados ao estresse (F43), assim como nos CIDs de natureza organizacional como Z73 e Z56. Esses setores compartilham características amplamente reconhecidas na literatura: alta demanda cognitiva,

pressões por metas, sobrecarga temporal e ambientes de ritmo acelerado. A presença reiterada de ocupações como Caixa de Banco, Carteiro, Técnico de Enfermagem e a categoria “Outros” ao longo dos diferentes diagnósticos reforça a ideia de que tanto atividades qualificadas quanto funções operacionais expostas à pressão emocional ou temporal configuram contextos de vulnerabilidade psicossocial transversal (Harvey et al., 2017). A convergência desses padrões entre todos os CIDs analisados evidencia que, independentemente da natureza clínica do diagnóstico, o ambiente organizacional e o modo institucional de registro dos eventos ocupam posição central na estruturação dos riscos psicossociais modelados. A Tabela 5 apresenta os autores identificados na revisão sistemática da literatura, suas propostas de mitigação de fatores psicossociais no trabalho e os respectivos CIDs nos quais tais estratégias podem ser aplicadas.

Tabela 5 - Estratégias para mitigação de riscos psicossociais vinculados aos CIDs beneficiados.

Autores (ano)	Estratégias	CIDs Beneficiados
Cedstrand et al. (2021)	Reduzir demandas e aumentar recursos no trabalho	Z73
Nguyen et al. (2025)	Redução de demandas; resiliência; Terapia cognitivo-comportamental; equilíbrio trabalho-vida	Z73, F43, F32, F33
Park et al. (2022)	Terapia cognitiva-comportamental com auxílio computadorizado; resiliência; meditação; licença remunerada; teletrabalho	F41, Z73, F32
Bjørkedal et al. (2023)	Apoio à procura de emprego; acesso ao mercado de trabalho	Z56
Wirth et al. (2019)	Fortalecer resiliência; sistema de apoio emocional em três níveis	Z73, Z56
Becker-Haimes et al. (2017)	Terapia cognitivo-comportamental	F41, F43
Tong et al. (2025)	Redução do desequilíbrio esforço-	Z73

	recompensa; reduzir conflito trabalho-família	
Lee et al. (2020)	Treinamento de resiliência	Z73
Ayed (2025)	Treinamento de inteligência emocional e coping	Z73
Hajizadeh et al. (2024)	Estratégias antiestigma em múltiplos níveis	F43
Naharro et al. (2025)	Reconhecer estresse como ocupacional; apoio estruturado; redução de demandas	Z56, Z73
Bock et al. (2020)	Intervenções para resiliência e ajustes no ambiente de trabalho	Z73, F43
Vanhaecht et al. (2021)	Sistema de apoio em três níveis; resiliência; redução de demandas	Z73, Z56

Fonte: Autoria Própria (2025)

As estratégias identificadas na literatura apresentam padrões consistentes entre diferentes diagnósticos psicossociais. Intervenções voltadas à redução de demandas, ao aumento de recursos no trabalho e ao fortalecimento da resiliência aparecem de forma recorrente em autores como Cedstrand et al., (2021), Nguyen et al., (2025), Park et al., (2022), Wirth et al., (2019), Lee et al., (2020) e Vanhaecht et al., (2021), sendo aplicáveis sobretudo aos CIDs Z73, F41 e F43. A terapia cognitivo-comportamental (TCC), apresentada em Nguyen et al., (2025), Park et al., (2022) e Becker-Haimes et al., (2017), é uma das intervenções mais frequentes e demonstrou aplicabilidade especialmente para diagnósticos relacionados à ansiedade e ao estresse.

Nos CIDs F32 e F33, associados a episódios depressivos e depressão recorrente, a literatura aponta a relevância de estratégias centradas em equilíbrio trabalho e vida, acompanhamento contínuo e programas de apoio estruturado, conforme identificado em Nguyen et al., (2025) e Bock et al., (2020). Já no CID Z56, relacionado a problemas com emprego e desemprego, autores como Bjørkedal et al., (2023), Wirth et al., (2019), Naharro et al., (2025) e Vanhaecht et al., (2021) destacam a importância de medidas organizacionais, como

estabilidade laboral, acesso ao mercado de trabalho, programas de qualificação e políticas de prevenção à insegurança ocupacional.

Apesar da amplitude das intervenções observadas, nenhum estudo da amostra apresentou estratégias específicas aplicáveis ao CID F31 (transtorno afetivo bipolar), de acordo com Abreu et al., (2025). há muita pouca literatura e dados sobre intervenções em pacientes com transtorno bipolar, especialmente entre aqueles que trabalham e fazem contribuições duradouras para a sociedade, o que reforça a falta de estratégias de mitigação para o CID F31.

Ainda assim, a revisão mostra que as intervenções mais eficazes convergem em quatro áreas centrais: (i) manejo da carga de trabalho, (ii) fortalecimento de recursos individuais, como resiliência, coping e inteligência emocional, (iii) suporte organizacional estruturado e (iv) práticas terapêuticas baseadas em evidências, especialmente a TCC. Esses elementos indicam que, embora os diagnósticos variem, os fatores de risco e os mecanismos de mitigação são compartilhados entre os diferentes CIDs analisados.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo de Regressão Logística, apesar de ser uma técnica tradicional e baseada em relações lineares, permanece competitivo quando comparado a algoritmos mais modernos, como métodos ensemble e modelos de deep learning. Mesmo com estrutura simplificada, apresentou métricas próximas às dos modelos avançados e manteve elevado desempenho preditivo, além de oferecer a vantagem de alta interpretabilidade, o que facilita a compreensão dos efeitos individuais de cada variável.

Na análise comparativa, verificou-se que as variáveis mais influentes identificadas pelos coeficientes da Regressão Logística convergem com aquelas destacadas pelos valores SHAP do Random Forest, modelo que obteve o melhor desempenho nas métricas avaliadas. Embora o SHAP não indique o sentido da associação, a consistência entre os dois métodos reforça a robustez dos fatores identificados, tanto na análise geral quanto nas análises específicas por CID. Esse alinhamento demonstra que o modelo linear permanece relevante e confiável, mesmo diante de abordagens mais sofisticadas.

A revisão sistemática da literatura mostrou que não há estratégias preventivas específicas para cada diagnóstico psicossocial. Em vez disso, prevalecem recomendações amplas aplicáveis a transtornos como estresse, ansiedade, burnout e depressão. As principais

diretrizes identificadas incluem a reorganização do ambiente de trabalho, o ajuste adequado das demandas laborais, a redução da sobrecarga, o fortalecimento do suporte organizacional e a implementação de programas de prevenção de recaídas. Além disso, destacam-se políticas de estabilidade, iniciativas de qualificação profissional e ações voltadas ao enfrentamento da insegurança laboral.

Como limitação deste estudo, destaca-se a falta de trabalhos que abordem estratégias específicas por CID, visto que a literatura disponível concentra-se em transtornos mentais gerais, o que dificulta a formulação de recomendações direcionadas para cada diagnóstico. Dessa forma, recomenda-se que futuras pesquisas aprofundem a análise segmentada por CID, ampliando o detalhamento conceitual e fortalecendo a aplicabilidade das estratégias preventivas no contexto ocupacional.

REFERÊNCIAS

- Antwarg, L., Miller, R. M., Shapira, B., & Rokach, L. (2021). Explaining anomalies detected by autoencoders using Shapley Additive Explanations. *Expert systems with applications*, 186, 115736
- Areosa, J. (2009). Do risco ao acidente: que possibilidades para a prevenção?
- Arik, S. Ö., & Pfister, T. (2021, May). Tabnet: Attentive interpretable tabular learning. In *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence* (Vol. 35, No. 8, pp. 6679-6687).
- Aust, B., Møller, J. L., Nordentoft, M., Frydendall, K. B., Bengtsen, E., Jensen, A. B., ... & Jaspers, S. Ø. (2023). How effective are organizational-level interventions in improving the psychosocial work environment, health, and retention of workers? A systematic overview of systematic reviews. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 49(5), 315
- Abreu Filho, R. M., Dos Santos, C. H., & Gonçalves, A. J. F. (2025). Work impairment in bipolar disorder compared to the healthy population: a systematic review. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 23(2), e20251363.
- Ayed, A. (2025). The Relationship Between Emotional Intelligence and Coping Behaviors Among Nurses in the Neonatal Intensive Care Unit. *SAGE Open Nursing*, 11, 23779608251330097.
- Bailey, J. S., & Burch, M. R. (2024). *Research methods in applied behavior analysis*. Routledge.
- Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands–resources theory: taking stock and looking forward. *Journal of occupational health psychology*, 22(3), 273.
- Bazaluk, O., Tsopa, V., Cheberichko, S., Deryugin, O., Nesterova, O., Sokurenko, S., & Lozynskyi, V. (2024). Development of the process of determining essential hazardous psychosocial factors of employee stress risk. *Frontiers in Public Health*, 12, 1414695.

Becker-Haimes, E. M., Okamura, K. H., Wolk, C. B., Rubin, R., Evans, A. C., & Beidas, R. S. (2017). Predictors of clinician use of exposure therapy in community mental health settings. *Journal of anxiety disorders*, 49, 88-94.

Bialczyk, K., Wyszowska, Z., & Bielinski, M. (2020). Affective Temperament is Associated with Stress Coping Strategies and Work Stress Perception Among Polish Bank Employees. *Psychology Research and Behavior Management*.

Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative science studies*, 1(1), 363-376.

Bjørkedal, S. T., Fisker, J., Hellström, L. C., Hoff, A., Poulsen, R. M., Hjorthoj, C., ... & Eplöv, L. F. (2023). Predictors of return to work for people on sick leave with depression, anxiety and stress: secondary analysis from a randomized controlled trial. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 96(5), 715-734.

Bock, C., Heitland, I., Zimmermann, T., Winter, L., & Kahl, K. G. (2020). Secondary Traumatic Stress, Mental State, and Work Ability in Nurses—Results of a Psychological Risk Assessment at a University Hospital. *Frontiers in psychiatry*, 11, 298.

BRASIL. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. (2025). Portal de Dados Abertos: Comunicações de Acidente de Trabalho (CAT)...

BRASIL. Ministério da Saúde. (2023). Portaria nº 1.999, de 27 de novembro de 2023...

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. (2024). Norma Regulamentadora nº 1 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais...

CASEMIRO, P.; MOURA, R. (2025). Crise de saúde mental: Brasil tem maior número de afastamentos por ansiedade e depressão em 10 anos. G1.

Cedstrand, E., Nyberg, A., Sanchez-Bengtsson, S., Alderling, M., Augustsson, H., Bodin, T., ... & Johansson, G. (2021). A participatory intervention to improve the psychosocial work environment and mental health in human service organisations. *International journal of environmental research and public health*, 18(7), 3.

Chen, T., He, T., Benesty, M., Khotilovich, V., Tang, Y., Cho, H., ... & Zhou, T. (2015). Xgboost: extreme gradient boosting. R package version, 0.4-2, 1-4.

Cartwright, S., & Cooper, C. L. (1997). *Managing workplace stress* (Vol. 1). Sage.

Corlatti, L., Hackländer, K., & Frey-Roos, F. R. E. D. Y. (2009). Ability of wildlife overpasses to provide connectivity and prevent genetic isolation. *Conservation biology*, 23(3), 548-556.

De Winter, J. C., Gosling, S. D., & Potter, J. (2016). Comparing the Pearson and Spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: A tutorial using simulations and empirical data. *Psychological methods*, 21(3), 273.

de Lucca, S. R., & Magalhães, A. F. A. (2025). The relevance of psychosocial risk factors at work in the NR-1 Risk Management Program. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, 22(4), e2024224.

Deady, M., Collins, D. A. J., Johnston, D. A., Glozier, N., Calvo, R. A., Christensen, H., & Harvey, S. B. (2022). The impact of depression, anxiety and comorbidity on occupational outcomes. *Occupational Medicine-Oxford*.

Figueiredo Filho, D. B., & Silva Júnior, J. A. (2009). Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista política hoje*, 18(1), 115-146.

González-Estrada, E., & Cosmes, W. (2019). Shapiro–Wilk test for skew normal distributions based on data transformations. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(17), 3258-3272.

Gupta, B., Rawat, A., Jain, A., Arora, A., & Dhimi, N. (2017). Analysis of various decision tree algorithms for classification in data mining. *International Journal of Computer Applications*, 163(8), 15-19.

Gutiérrez Naharro, E. M., Sillero Sillero, A., Ponce Blandón, J. A., & Sáez, J. F. (2025). Sex Differences in Mental Health-Related Work Incapacity Across Occupational Sectors During the COVID-19 Lockdown in Spain. *Healthcare*, 13(10), 1137.

Harvey, S. B., Joyce, S., Tan, L., Johnson, A., Nguyen, H., Modini, M., & Groth, M. (2014). Developing a mentally healthy workplace: A review of the literature.

Hajizadeh, A., Amini, H., Heydari, M., & Rajabi, F. (2024). How to combat stigma surrounding mental health disorders: a scoping review of the experiences of different stakeholders. *BMC psychiatry*, 24(1), 782.

James, G. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*.

Jiang, G., & Wang, W. (2017). Error estimation based on variance analysis of k-fold cross-validation. *Pattern Recognition*, 69, 94-106.

Johns, G. (2010). Presenteeism in the workplace: A review and research agenda. *Journal of organizational behavior*, 31(4), 519-542.

Júnior, G. B. V., Lima, B. N., Pereira, A. A., Rodrigues, M. F., Oliveira, J. R. L., Sílio, L. F., ... & Passos, R. P. (2022). Métricas utilizadas para avaliar a eficiência de classificadores em algoritmos inteligentes. *Revista CPAQV*, 14(2), 2.

Kasznar, I. K., & Gonçalves, B. M. L. (2011). Regressão múltipla: uma digressão sobre seus usos. *IBCI*.

Kogi, K. (2002). Work improvement and occupational safety and health management systems: common features and research needs. *Industrial health*, 40(2), 121-133.

Kyngäs, H., Kääriäinen, M., & Elo, S. (2019). The trustworthiness of content analysis. In *The application of content analysis in nursing science research* (pp. 41-48). Springer.

Laurell, A. C., & Noriega, M. (1989). *Processo de produção e saúde: trabalho e desgaste operário*. Hucitec.

Leka, S., Jain, A., & World Health Organization. (2010). Health impact of psychosocial hazards at work: an overview.

Lee, J., Han, C., Ko, Y. H., Kang, J., Byun, Y., Son, Y., & Yoon, H. K. (2020). Emotional changes and

protective factors of emotional workers in the public and private sector. *Psychiatry Investigation*, 17(7), 645.

Marziale, M. H. P., & Carvalho, E. C. D. (1995). Condições ergonômicas da situação de trabalho...

Myers, R. H., & Montgomery, D. C. (1997). A tutorial on generalized linear models. *Journal of Quality Technology*, 29(3), 274-291.

Nguyen, N., Spooner, E., O'Balle, P., Ashraf, H., Heskett, K., Zisook, S., & Davidson, J. E. (2025). The Relationship Between Depression, Burnout, and Suicide Among Healthcare Professionals. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 22(3), e70037.

Nohara, Y., Matsumoto, K., Soejima, H., & Nakashima, N. (2022). Explanation of machine learning models using shapley additive explanation... *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 214, 106584.

Ogbuanya, T. C., Eseadi, C., Orji, C. T., Ede, M. O., Ohanu, I. B., & Bakare, J. (2017). Effects of rational emotive occupational health therapy intervention... *Medicine*, 96(18), e6765.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372.

Park, H. W., Park, S. H., Kim, Y. W., Son, J., Kim, C. W., Park, H. O., ... & Jeong, H. (2022). Association between coronavirus disease 2019-related workplace interventions and prevalence of depression and anxiety. *Annals of occupational and environmental medicine*, 34, e11.546.

Portuné, R. (2012). Psychosocial risks in the workplace: an increasing challenge for German and international health protection. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 63(2), 123.

Pradhan, A. (2012). Support vector machine-a survey. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(8), 82-85.

Rish, I. (2001). An empirical study of the naive Bayes classifier. *IJCAI Workshop*.

Rigatti, S. J. (2017). Random forest. *Journal of insurance medicine*, 47(1), 31-39.

Schulte, P. A., Sauter, S. L., Pandalai, S. P., Tiesman, H. M., Chosewood, L. C., Cunningham, T. R., ... & Howard, J. (2024). An urgent call to address work-related psychosocial hazards and improve worker well-being. *American journal of industrial medicine*, 67(6), 499-514.

Shangareev, R. R. (2019, June). The formula for determining motivation indicators in the occupational risk management system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 560, No. 1, p. 012201). IOP Publishing.

Strømholm, T., Pape, K., Ose, S. O., Krokstad, S., & Bjørngaard, J. H. (2015). Psychosocial working conditions and sickness absence in a general population... *Journal of occupational and environmental medicine*, 57(4), 386-392.

Stoltzfus, J. C. (2011). Logistic regression: a brief primer. *Academic emergency medicine*, 18(10), 1099-1104.

Tong, L., Zhu, L., Zhang, H., Zhong, L., Diao, D., Chen, X., & Zhang, J. (2025). Effort-reward imbalance

and health outcomes... *Frontiers in Public Health*, 12, 1515593.

Vanhaecht, K., Seys, D., Bruyneel, L., Cox, B., Kaesemans, G., Cloet, M., ... & Claes, S. (2021). COVID-19 is having a destructive impact on health-care workers' mental well-being. *International Journal for Quality in Health Care*, 33(1), mzaa158.

Venkatesh, V., Brown, S. A., & Bala, H. (2013). Bridging the qualitative-quantitative divide... *MIS quarterly*, 21-54.

World Health Organization. (2010). *Health impact of psychosocial hazards at work: An overview*. WHO Press.

Wirth, T., Wendeler, D., Dulon, M., & Nienhaus, A. (2019). Sick leave and work-related accidents... *International archives of occupational and environmental health*, 92(2), 175-184.

Yulita, I. N., Abdullah, A. S., Helen, A., Hadi, S., Sholahuddin, A., & Rejito, J. (2021). Comparison multi-layer perceptron and linear regression... *Journal of Physics: Conference Series*, 1722(1), 012021.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HAZOP PARA GESTÃO DE RISCOS NO CONTEXTO DO PSM: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

Vitor Gabriel Leandro Olieria (vitoroliera92@gmail.com)

Tatiane Ferrari (tatiane.ferrari@unespar.edu.br)

Resumo: Este trabalho teve como objetivo realizar a aplicação da metodologia HAZOP no contexto do Gerenciamento de Segurança de Processos, a partir de um estudo de caso realizado no sistema de ácido sulfúrico de uma indústria brasileira de fertilizantes. A aplicação foi estruturada em quatro etapas: definição do escopo de aplicação, definição da equipe multidisciplinar, aplicação da análise HAZOP e avaliação e proposição de recomendações. A abordagem metodológica ocorreu por meio de abordagem mista, envolvendo análise documental, inspeções e entrevistas com profissionais das áreas de operação, manutenção e segurança, além da avaliação quantitativa dos cenários de risco e das recomendações geradas pelo estudo. A análise buscou identificar os riscos críticos do processo e avaliar como a metodologia HAZOP pode ser aplicada de forma consistente dentro da lógica do PSM, considerando a definição de salvaguardas, a coerência dos cenários e a objetividade das recomendações. Com essa aplicação, o estudo buscou contribuir para o aperfeiçoamento da gestão de riscos, oferecendo subsídios para uma estrutura mais organizada e eficaz. Os resultados indicaram a identificação de 285 cenários de riscos potenciais no sistema ácido sulfúrico, sendo que quatro delas apresentaram risco residual alto (Risco O), destacando a fragilidade da operação de recebimento de ácido por modal rodoviário como o nó mais crítico, o que reforça a lacuna de implementação do PSM no contexto brasileiro. Tal iniciativa é particularmente relevante no contexto brasileiro, onde a segurança de processos ainda avança gradualmente e demanda maior rigor nas operações com substâncias perigosas.

Palavras-chave: Ácido Sulfúrico; Risco Residual; Análise de Perigos; Salvaguardas; PHA.

APPLICATION OF THE HAZOP METHODOLOGY FOR RISK MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF PSM: A CASE STUDY IN A FERTILIZER INDUSTRY

Abstract: This study aimed to apply the HAZOP methodology within the context of Process Safety Management, based on a case study conducted on the sulfuric acid system of a Brazilian fertilizer industry. The application was structured in four stages: definition of the scope, definition of the multidisciplinary team, application of the HAZOP analysis, and evaluation and proposition of recommendations. The methodological approach occurred through a mixed approach, involving documentary analysis, inspections, and interviews with professionals from the operations, maintenance, and safety areas, in addition to the quantitative evaluation of risk scenarios and the recommendations generated by the study. The analysis sought to identify the critical risks of the process and evaluate how the HAZOP methodology can be consistently applied within the PSM framework, considering the definition of safeguards, the coherence of the scenarios, and the objectivity of the recommendations. With this application, the study sought to contribute to the improvement of risk management, offering subsidies for a more organized and effective structure. The results indicated the identification of 285 potential risk scenarios in the sulfuric acid system, with four of them presenting high residual risk (Risk O), highlighting the fragility of the acid receipt operation via road transport as the most critical node, which reinforces the gap in PSM implementation in the Brazilian context. This initiative is particularly relevant in the Brazilian context, where process safety is still gradually advancing and demanding greater rigor in operations involving hazardous substances.

Keywords: Sulfuric Acid, Residual Risk, Hazard Analysis, Safeguards, PHA.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de fertilizantes desempenha um papel fundamental na economia e na segurança alimentar brasileira, sendo vital para a garantia da produtividade agrícola nacional (Dias e Fernandes, 2006). Dada a sua relevância estratégica, o setor opera com processos complexos que envolvem, inevitavelmente, o manuseio de produtos e substâncias perigosas, a exemplo do ácido sulfúrico, amplamente utilizado. Essas operações exigem um maior controle sobre os processos industriais, visando garantir segurança e conformidade. No entanto, a

natureza dinâmica desse ambiente, com mudanças operacionais constantes, representa um elevado potencial de risco para as plantas industriais, caso não haja um gerenciamento adequado (Ruppenthal, 2013).

O Gerenciamento de Riscos em ambientes industriais é, portanto, uma prática fundamental para evitar acidentes de grandes proporções. A dimensão do problema no cenário brasileiro é grave, considerando o histórico de incidentes em plantas químicas e petroquímicas (Gonçalves Filho et al., 2025) que resultam frequentemente em perdas humanas, ambientais e econômicas substanciais, reforçando a urgência de estratégias de controle mais robustas. Souza (2013) destaca que muitas vezes as empresas priorizam a manutenção da operação da planta com foco em produtividade, limitando-se a planos básicos de manutenção, o que pode levar ao negligenciamento de riscos significativos. A complexidade dos processos e a presença de agentes químicos, como o ácido sulfúrico, exigem estratégias sistemáticas para identificação, avaliação e controle dos perigos envolvidos nas operações (Ruppenthal, 2013).

Dentro desse contexto, destaca-se o Gerenciamento de Segurança de Processos (Process Safety Management – PSM), um sistema estruturado que visa mitigar ou prevenir a liberação de produtos químicos perigosos, reduzindo o risco de incêndios, explosões e exposições tóxicas causadas por falhas em equipamentos, procedimentos ou processos. O PSM foi desenvolvido pela Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (OSHA, 1994), sendo composto por 14 elementos integrados. Dentre esses elementos, um dos mais relevantes é a Análise de Risco de Processos (Process Hazard Analysis – PHA) (Bridges, 2011), que busca identificar cenários de risco potenciais, bem como suas causas e consequências, permitindo a implementação de medidas preventivas eficazes.

Apesar dos avanços internacionais nesse campo, no contexto brasileiro ainda há uma escassez significativa de estudos aplicados ao PSM, especialmente em setores de alto risco como a indústria de fertilizantes. Embora autores como Souza (2003) explorem os benefícios do PSM em termos gerais, a ausência de regulamentações nacionais específicas tem impactos diretos que levam à implementação fragmentada do PSM em empresas brasileiras (Gonzalez, 2019). A lacuna se agrava ao se observar que poucos trabalhos se dedicam à análise prática de um único elemento do PSM, como a PHA. Essa fragilidade de implementação ocorre porque a legislação atual, apesar de pertinente, carece de diretrizes claras e não aborda a segurança de processo de forma sistêmica e integrada.

Em decorrência das lacunas de aplicação prática do PSM e na análise de riscos

identificadas em indústrias brasileiras de fertilizantes, este estudo se enquadra na área de Engenharia do Trabalho, conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO). Sob essa perspectiva, o presente trabalho propôs-se a implementar uma análise de risco de processos (PHA) na unidade de ácido sulfúrico de uma empresa brasileira do setor de fertilizantes, utilizando a metodologia HAZOP (Hazard and Operability Study). O estudo buscou a identificação e detalhamento de cenários de risco, desvios operacionais e falhas nas camadas de proteção. Para tal, foi conduzido um estudo de caso aplicado com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), realizado em conjunto com uma equipe multidisciplinar local. A metodologia envolveu reuniões, inspeções e análise de documentos técnicos (P&IDs e procedimentos operacionais), sendo o trabalho embasado em normas nacionais, literatura técnica e regulamentações internacionais, com o intuito de gerar recomendações práticas para aprimoramento da gestão de riscos.

2. SEGURANÇA EM PROCESSOS INDUSTRIAIS

Nesta seção é apresentado o referencial teórico, abordando três temas principais: (i) Gerenciamento de Segurança de Processo (Process Safety Management - PSM), (ii) Matriz de Riscos, e (iii) Estudo de Perigo e Operabilidade (Hazard and Operability Study - HAZOP).

2.1. GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSO - PSM

O Gerenciamento de Segurança de Processo (PSM) é a aplicação de controles gerenciais e de engenharia ao manuseio ou processamento de substâncias perigosas, visando a prevenção de acidentes catastróficos. O objetivo central é identificar, compreender e controlar os riscos relacionados à liberação não planejada (perda de contenção) de produtos químicos ou energia de um processo (OSHA, 1994). Autores como Kletz (1984), um dos pioneiros na área de segurança, enfatizam que a prevenção de grandes acidentes industriais não depende apenas da gestão de segurança ocupacional, mas de um sistema dedicado à integridade do processo em si. Com o passar dos anos, abordagens complementares foram criadas para otimizar o sistema, como o modelo Risk Based Process Safety (RBPS) do Center for Chemical Process Safety (CCPS, 2007). O RBPS avança ao integrar fatores como cultura organizacional e desempenho, garantindo que a segurança seja intrínseca à operação.

O PSM, em sua estrutura de 14 elementos fundamentais (OSHA, 1994), traduz essa filosofia ao exigir uma visão sistêmica que abrange desde a informação de segurança de processo até a investigação de incidentes. Dentro desta estrutura, a Análise de Risco de Processos (PHA) é um elemento crucial, sendo o método sistemático para identificar e avaliar

cenários de risco (Bridges, 2011). A PHA não é apenas um requisito regulatório, mas o pilar que permite às organizações entenderem onde as camadas de proteção (salvaguardas) podem falhar e planejar intervenções eficazes, sendo um passo indispensável para o controle de riscos em operações com alta complexidade (Mannan, 2013).

2.1.2 ANÁLISE DE RISCOS DE PROCESSOS - PHA

A Análise de Risco de Processos (Process Hazard Analysis - PHA) está inserida dentro do PSM como um de seus 14 elementos mandatórios (OSHA, 1994). Essa metodologia está voltada para a identificação sistemática, análise e mitigação dos perigos e riscos associados às operações industriais que envolvem substâncias perigosas. O objetivo principal da PHA é a prevenção de incidentes de grande impacto, como vazamentos tóxicos, incêndios e explosões, por meio da antecipação de cenários de falha e da proposta de medidas de controle (Bridges, 2011). A importância da PHA no contexto do PSM reside em sua capacidade de ser o pilar de avaliação de riscos, fornecendo os dados e as recomendações necessárias para a implementação de outros elementos do PSM, como Gerenciamento de Mudanças (MOC) e Integridade Mecânica (Fernandes, 2021).

A aplicação da PHA envolve a identificação de elementos críticos do processo, como equipamentos sob pressão, substâncias inflamáveis ou tóxicas, fontes de ignição e interações entre sistemas. No caso específico da indústria de fertilizantes, que lida com a produção e manuseio de agentes químicos agressivos como o ácido sulfúrico, a PHA é fundamental para avaliar cenários como a perda de contenção, reações descontroladas ou falhas de arrefecimento, perigos inerentes a estes processos (Ruppenthal, 2013). Além disso, fatores externos, como temperatura, umidade, vibração e outras interferências ambientais, são considerados, pois podem comprometer a integridade operacional e aumentar a probabilidade de falhas críticas (Mannan, 2013).

Para garantir a viabilidade técnica e a abrangência da análise, é recomendável que a PHA seja conduzida por uma equipe multidisciplinar com conhecimento profundo dos processos avaliados, incluindo especialistas em operação, manutenção e engenharia (Eames, 2022). Os resultados da análise devem culminar em ações corretivas ou preventivas, cuja efetividade deve ser monitorada ao longo do tempo para garantir a segurança contínua do processo. Entre as técnicas mais utilizadas na PHA, destaca-se o Hazard and Operability Study (HAZOP), que será detalhado na próxima seção, e a Matriz de Riscos, que é utilizada para a classificação e definição dos níveis de frequência e severidade, quantificando os riscos de

maneira qualitativa.

2.1.2.1 MATRIZ DE RISCOS

A Matriz de Riscos é uma representação gráfica e uma ferramenta básica de avaliação qualitativa que correlaciona a frequência de um evento perigoso com a severidade de suas consequências (De Paulo et al., 2007). Por meio dessa ferramenta, os riscos podem ser classificados em níveis como baixo, médio, alto ou crítico, o que facilita a priorização de perigos e orienta a tomada de decisão quanto à necessidade de controles ou ações de mitigação (Mannan, 2013). A etapa de categorização dos riscos constitui a base da avaliação qualitativa e exige o estabelecimento de critérios claros de frequência (ou probabilidade) e severidade (ou impacto) que, quando combinados, estimam o risco associado ao evento. O Quadro 1 apresenta um exemplo de classificação e definição desses níveis.

Quadro 1 – Exemplo de classificação e definição dos níveis de frequência e severidade

Classificação de Frequência por Evento			
Classificação	Descrição		Peso
Raríssimo	Mais de uma vez por ano		1
Classificação de Frequência por Evento			
Classificação	Descrição		Peso
Raro	Uma vez por ano		2
Eventual	Uma vez por semestre		3
Frequente	Uma vez por semana		4
Muito Frequente	Mais de uma vez por semana		5
Classificação de Severidade por Evento			
Classificação	Descrição		Peso
Perda Muito Baixa	R\$ 0,01	R\$ 500,00	1
Perda Baixa	R\$ 500,01	R\$ 5.000,00	2
Perda Média	R\$ 5.000,01	R\$ 50.000,00	3
Perda Alta	R\$ 50.000,01	R\$ 500.000,00	4
Perda Grave	R\$ 500.000,01	-	5

Fonte: Adaptado de Paulo et al. (2007).

De acordo com Aguiar (2001), os critérios utilizados para classificar a frequência e a severidade dos riscos devem ser adaptados à realidade de cada organização, considerando seu contexto interno, sua estrutura operacional e o ambiente no qual está inserida. Dessa forma, é fundamental que sejam analisadas as características específicas de cada um de seus processos, atividades e operações, a fim de garantir uma avaliação de riscos mais precisa e coerente com a realidade organizacional. A Matriz de Riscos, enquanto ferramenta de gestão e representação gráfica, possibilita a visualização clara da relação entre a probabilidade de ocorrência e os impactos potenciais de eventos indesejáveis. Essa visualização facilita a identificação e a priorização dos perigos mais críticos, além de orientar a tomada de decisão quanto à necessidade de implementação de controles preventivos, corretivos ou ações de mitigação (Santos, 2011). Embora a codificação por cores utilizada na Matriz de Riscos possa variar de acordo com as políticas internas de cada empresa, geralmente adota-se uma padronização na qual o verde indica risco baixo, o amarelo representa risco médio, o laranja corresponde a risco alto e o vermelho sinaliza risco muito alto, conforme ilustrado na Figura 1. Essa padronização contribui para uma interpretação mais rápida e eficaz dos níveis de risco por parte dos gestores e demais envolvidos no processo de gestão de riscos.

Figura 1 – Matriz de Riscos

		Severidade				
		1	2	3	4	5
Probabilidade	1	10	20	30	40	50
	2	20	40	60	80	100
	3	30	60	90	120	150
	4	40	80	120	160	200
	5	50	100	150	200	250

Fonte: Adaptado de Paulo et al. (2007).

Além de classificar os riscos por meio da matriz de riscos, é necessário compreender os conceitos de risco inerente e risco residual. O risco inerente representa o nível de risco existente antes da aplicação de qualquer medida de controle, considerando apenas a probabilidade de

ocorrência e o impacto do evento. Já o risco residual é o risco que permanece após a implementação dos controles, refletindo a real exposição da organização (Oliveira Júnior et al., 2015). A avaliação do risco residual permite verificar se os controles atuais são suficientes ou se há necessidade de melhorias.

Contudo, à medida que os processos industriais se tornam mais complexos, as ferramentas de avaliação baseadas apenas na matriz de riscos e nos controles existentes podem se tornar insuficientes, principalmente para identificar causas raízes e entender as sequências de falha que levam a desvios operacionais. Para complementar e aprofundar essa análise, tornam-se necessárias ferramentas mais estruturadas, capazes de mapear detalhadamente os desvios e suas consequências (Dinizio & Martins, 2020). Nesse contexto, o HAZOP é amplamente utilizado, pois permite examinar de forma sistemática os possíveis desvios operacionais e suas causas, organizando-os em uma sequência lógica e hierárquica não apenas aprofundando a avaliação de riscos iniciada pela matriz de riscos, mas também formando uma base fundamental do PSM nas indústrias modernas, integrando identificação de perigos, análise de consequências e priorização de ações preventivas.

2.1.2.2 ANÁLISE DE PERIGO E OPERABILIDADE - HAZOP

A Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP) é uma técnica qualitativa e sistemática, utilizada para identificar riscos e falhas operacionais em processos industriais que poderiam resultar em graves incidentes (Eames, 2022). Desenvolvida pela Imperial Chemical Industries (ICI) na década de 1960, essa metodologia tornou-se uma das mais eficazes no campo da segurança de processos. A análise é realizada com base na identificação de desvios em parâmetros operacionais esperados como vazão, pressão, temperatura, nível e composição. Esses parâmetros são avaliados em pontos específicos do processo chamados de nós.

O principal diferencial do HAZOP está no uso de palavras-guia, que servem para orientar a identificação de desvios com relação ao desempenho esperado de cada parâmetro operacional (Sousa et al., 2024). Essas palavras ajudam a sistematizar o pensamento e explorar falhas que poderiam passar despercebidas. As palavras-guias mais utilizadas podem ser vistas no Quadro 2.

Quadro 2 – Exemplo de palavras guias para projetos

Palavras-guia	Significado
---------------	-------------

Não, Nenhum	Nenhuma intenção do projeto é alcançada
Mais, Maior	Aumento quantitativo do parâmetro
Menos, Menor	Diminuição quantitativa do parâmetro
Bem como	Ocorre uma atividade adicional
Parte de	Apenas alguma intenção do projeto é alcançada
Reverso	Oposição lógica ao significado do projeto
Além de, Outro	Completa substituição: ocorre outra atividade ou ocorre uma atividade invulgar ou existe uma condição incomum

Fonte: Adaptado de Crawley e Tayler (2015).

A combinação entre parâmetros e palavras-guia gera desvios significativos, como por exemplo: “fluxo reverso”, “temperatura alta”, ou “sem mistura”. Esses desvios são então analisados quanto às causas, consequências, salvaguardas existentes e ações recomendadas. Os resultados dessa análise são registrados em tabelas padronizadas, contendo: nó, parâmetro, palavra-guia, desvio, causas, consequências, salvaguardas e recomendações conforme ilustrados no Quadro 3.

Quadro 3 – Modelo de Planilha Hazop

Relatório HAZOP					Frequência, Severidade e Risco			Data, Area, Folha		Frequência, Severidade e Risco Após Ações		
Parâmetro	Palavra - Chave	Desvio	Causas	Consequências	F	S	R	Nº	Ações Recomendadas	F	S	R

Fonte: Adaptado de Crawley e Tayler (2015).

As recomendações devem ser claras, executáveis, com definição de responsável e prazo de implementação. Um ponto crítico para a eficácia do HAZOP é a composição da equipe, que deve ser multidisciplinar contendo engenheiros de processos, operação, manutenção, segurança, elétrica, instrumentação, entre outros. A diversidade de conhecimento e a experiência combinada são essenciais para garantir uma análise aprofundada, identificar todos

os desvios possíveis e propor soluções eficazes.

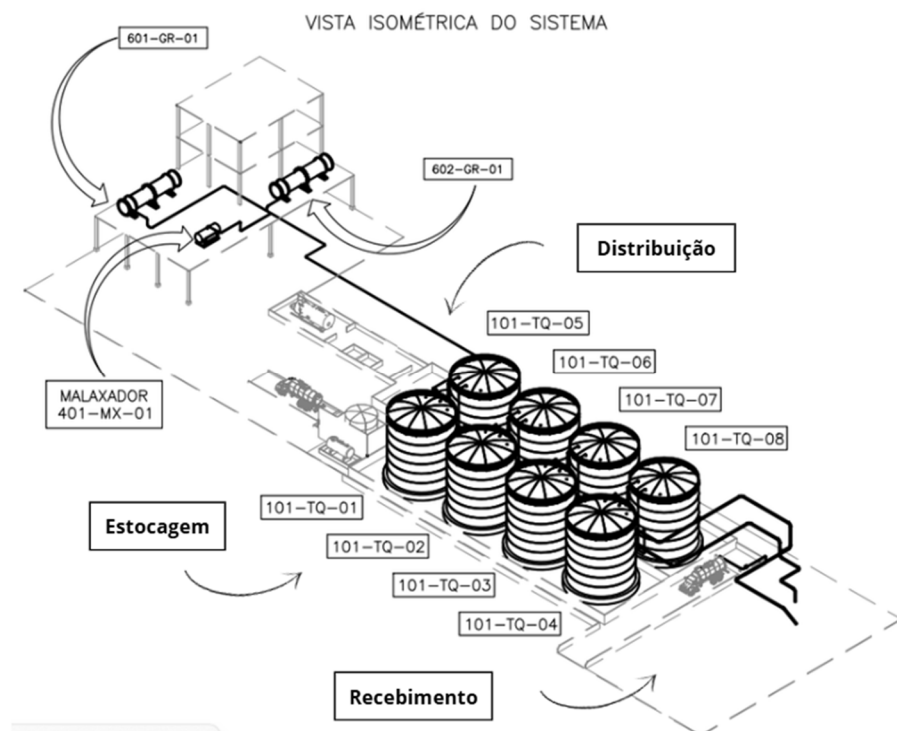
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta seção está dividida em quatro fases: (i) escopo de aplicação, (ii) equipe multidisciplinar, (iii) aplicação do estudo de perigo e operabilidade (HAZOP), (iv) avaliação e proposição de recomendações.

3.1 ESCOPO DE APLICAÇÃO

Este estudo foi desenvolvido em uma empresa brasileira de grande porte do setor de fertilizantes, que é responsável pela produção de mais de 500 mil toneladas de fertilizantes por ano. A organização conta com mais de 250 funcionários e possui estrutura industrial cujas operações utilizam substâncias químicas perigosas em grandes quantidades, e que acabam exigindo um controle rigoroso dos riscos operacionais. Desta forma o estudo está fundamentado na linha de recebimento, estocagem e distribuição de ácido sulfúrico até o malaxador, como visto na Figura 2:

Figura 2 – Vista isométrica da tancagem de ácido sulfúrico



Fonte: P&Id interno (2025), adaptado pelo autor.

Diante da robustez metodológica do HAZOP, torna-se fundamental aplicar essa sistemática a ativos que apresentem elevada criticidade operacional. No contexto desta unidade

de produção de fertilizantes, o ácido sulfúrico destaca-se como o objeto central de análise. Ele é um insumo essencial para a fabricação do superfosfato simples, mas em contrapartida, é uma substância crítica devido ao seu alto poder corrosivo e potencial para gerar emissões tóxicas e danos severos à integridade física das instalações e dos colaboradores.

Para a execução da análise, a coleta de dados foi estruturada de forma a fornecer todas as informações necessárias para a elaboração da planilha HAZOP. O diagnóstico inicial partiu de um relatório técnico de inspeção visual elaborado por uma empresa especializada, que avaliou as condições físicas de tanques, tubulações, válvulas e bombas. Para complementar essa base, foram coletados registros técnicos específicos, que incluíram evidências fotográficas das inspeções realizadas em campo. Essas imagens, apresentadas no Apêndice B, documentam as condições reais dos equipamentos e instalações no momento da avaliação, servindo como suporte visual às análises técnicas e contribuindo para a rastreabilidade e confiabilidade do diagnóstico realizado. Para complementar essa base, foram coletados registros técnicos específicos, que incluíram:

Diagramas de Tubulação e Instrumentação (P&IDs): para a identificação exata dos nós e componentes do sistema;

Fichas de Dados de Segurança (FDS): para o levantamento das propriedades físico-químicas e riscos do ácido;

Históricos de Manutenção e Prontuários: para verificar falhas recorrentes em bombas e vedações;

Procedimentos Operacionais Padrão (POPs): para entender como as manobras de carga e descarga são executadas.

Com base nesse conjunto de informações e nas fotografias da tancagem, aplicou-se a técnica HAZOP. O objetivo foi identificar desvios operacionais, avaliar suas causas imediatas e propor melhorias que garantam a conformidade do sistema com os princípios da Segurança de Processos já detalhados neste estudo.

3.2 EQUIPE MULTIDISCIPLINAR

Para a eficácia de um HAZOP ser atingida precisou-se ter várias partes envolvidas, que fornecem a diversidade de conhecimento e experiência exigida pela metodologia. Conforme as diretrizes do PSM, foi conduzida uma PHA por um time com visão e expertise técnica da área.

Para a condução deste estudo formou-se uma equipe multidisciplinar conforme detalhado no Quadro 3 omitindo-se as identificações desses por motivos de sigilo corporativo. O único identificado na tabela é o autor que atuou como facilitador de PHA, conduzindo o estudo.

Quadro 3 – Composição da equipe multidisciplinar

Setor	Cargo	Função no HAZOP
EHS	Especialista de Segurança do Trabalho	Facilitador de PHA
EHS	Técnico de Segurança	Equipe Envolvida PHA
Produção	Engenheiro de Operações Júnior	Equipe Envolvida PHA
Manutenção	CO. Engenharia Manutenção	Equipe Envolvida PHA
Manutenção	Supervisor Elétrica	Equipe Envolvida PHA
Produção	Operador de Processo Químico	Equipe Envolvida PHA
Produção	GT Produção Química	Equipe Envolvida PHA

Fonte: Autor (2025).

A diversidade de funções na equipe foi um papel crucial para a realização da análise HAZOP, e a contribuição dos membros com seus conhecimentos práticos dos desvios e insights sobre confiabilidade e condições dos equipamentos, possibilitou uma identificação abrangente e precisa dos riscos, resultando em recomendações realistas e alinhadas às necessidades da empresa. A análise de risco do processo do sistema de ácido sulfúrico foi conduzida em sessões de trabalho realizadas nos dias 23/10, 30/10, 06/11 e 13/11 de 2025.

3.3 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE PERIGO E OPERABILIDADE (HAZOP)

A análise de risco do sistema de ácido sulfúrico foi conduzida com o auxílio do software PHA Pro. Esta ferramenta permitiu a vinculação de diagramas e planilhas, facilitando a divisão do processo em nós de análise e a aplicação das palavras-guias. A definição dos parâmetros de processo (como vazão, pressão, temperatura e nível) foi realizada a partir da análise da

"Intenção de Projeto" de cada nó, fundamentada nos limites operacionais descritos nos manuais dos equipamentos e nos P&IDs, assegurando que cada desvio identificado fosse comparado a uma condição normal de operação preestabelecida.

Foram utilizados registros técnicos, observações de campo e informações como a descrição da química do processo, fluxogramas, consequências de desvios, níveis de alarme e propriedades físico-químicas do ácido sulfúrico. Com base nessas informações, o sistema de ácido sulfúrico foi dividido em 15 nós de análise, representando as principais etapas do processo, desde o recebimento e armazenamento até a distribuição e utilização do ácido. Entre esses nós, três correspondem a tubulações atualmente desativadas: a linha de expedição de ácido sulfúrico e as duas linhas que originalmente alimentavam os granuladores GR1 e GR2. Optou-se por mantê-las no escopo do estudo, uma vez que ainda fazem parte do sistema físico instalado e podem compor cenários potenciais relevantes para avaliação de risco, seja por eventual retomada de operação, seja por condições de integridade mecânica ou interação com unidades ativas do processo.

O Quadro 4 apresenta a caracterização detalhada dos 15 nós analisados, descrevendo de forma sistemática as etapas que compõem o ciclo de vida do ácido sulfúrico na planta. Essas etapas abrangem desde as operações iniciais de descarregamento e estocagem, passando pelos sistemas de transferência e controle, até a aplicação final do ácido no processo de mistura e granulação, seja no malaxador ou nos granuladores. Com o objetivo de facilitar a compreensão da lógica espacial do processo e dos limites estabelecidos para cada análise, o Anexo A apresenta a planta completa do circuito de ácido sulfúrico. Nesse material, a distribuição dos nós está apresentado por meio de cores distintas que proporcionam uma visualização clara e intuitiva de todo o arranjo físico do sistema, permitindo identificar com precisão onde se encerram as responsabilidades operacionais de um setor e onde se iniciam as do setor subsequente, respeitando a sequência lógica operacional adotada na análise.

Quadro 4 – Definição de Nós do Processo

(continua)

Nó	Descrição do Nó	Equipamento Principal	
		TAG Equipamento Principal	Nome do equipamento principal

	Expedição de ácido sulfúrico via modal rodoviário (desativado)	Recebimento de matéria prima	6.	1 01HV01	Válvula de controle
	Recebimento de ácido sulfúrico pela tubulação externa	Recebimento de matéria prima	.	1 01BO01	Bomba de descarga de ácido
	Recebimento de ácido sulfúrico pelo modal rodoviário	Recebimento de matéria prima	5.	1 01BO01	Bomba de descarga de ácido
	Carregamento dos tanques 101-TQ-01 e 101-TQ-05	Armazenamento de matéria prima	.	1 01TQ01	Tanque de armazenamento 01
			.	1 01TQ05	Tanque de Armazenamento 05
	Carregamento dos tanques 101-TQ-02 e 101-TQ-06	Armazenamento de matéria prima	.	1 01TQ02	Tanque de armazenamento 02
			.	1 01TQ06	Tanque de armazenamento 06
	Carregamento dos tanques 101-TQ-03 e 101-TQ-07	Armazenamento de matéria prima	.	1 01TQ03	Tanque de armazenamento 03
			.	1 01TQ07	Tanque de armazenamento 07
	Carregamento dos tanques 101-TQ-04 e 101-TQ-08	Armazenamento de matéria prima	.	1 01TQ04	Tanque de armazenamento 04
			.	1 01TQ08	Tanque de armazenamento 08
	Descarga do tanque 101-TQ-01 e 101-TQ-02	Alimentação da Produção	7.	1 01TQ01	Tanque de armazenamento 01
			8.	1 01TQ02	Tanque de armazenamento 02
	Descarga do tanque 101-TQ-03 e 101-TQ-04	Alimentação da Produção	.	1 01TQ03	Tanque de armazenamento 03
			.	1 01TQ04	Tanque de armazenamento 04

0.	Descarga do tanque 101-TQ-05 e 101-TQ-06	Alimentação da Produção	.	1 01TQ05	Tanque de Armazenamento 05
			.	1 01TQ06	Tanque de armazenamento 06
1.	Descarga do tanque 101-TQ-07 e 101-TQ-08	Alimentação da Produção	.	1 01TQ07	Tanque de armazenamento 07
			.	1 01TQ08	Tanque de armazenamento 08
2.	Tubulação principal de conexão com as bombas 101-BO-04	Alimentação da Produção	1.	1 01BO03	Bomba de processo
			2.	1 01BO04	Bomba de processo
3.	Tubulação principal de alimentação dos equipamentos 401-MX-01	Processo de Mistura	0.	4 01MX01	Malaxiador - Paddle Mixer
			1.	1 01BO03	Bomba de processo
			2.	1 01BO04	Bomba de processo
4.	Tubulação secundária de alimentação do 601-GR-01 (desativado)	Processo de Granulação	3.	6 01GR01	Granulador rotativo

(conclusão)

Nó	Descrição do Nó	Equipamento Principal		
			TAG Equipamento Principal	Nome do equipamento principal
5.	Tubulação secundária de alimentação do 601-GR-02 (desativado)	Processo de Granulação	4. 6 01GR02	Granulador rotativo

Fonte: Autor (2025)

Para a identificação dos possíveis desvios, foram aplicadas 16 palavras-guia tradicionais, as quais foram utilizadas para todos os nós avaliados. Buscou-se aplicar cada uma

delas em todas as condições analisadas; contudo, diversas palavras-guia não se mostraram aplicáveis ao contexto específico de determinados nós, seja pela natureza do processo ou pelas características físicas e operacionais do sistema. Ainda assim, o conjunto completo de palavras-guia assegurou abrangência e rigor metodológico na identificação de cenários potenciais. O Quadro 5 apresenta um exemplo ilustrativo da aplicação das palavras-guia em um dos nós analisados:

Quadro 5 – Exemplo de aplicação das palavras-guia em um nó do sistema

(continua)

Nó		Desvios	
3.	Recebimento de ácido sulfúrico pelo modal rodoviário	1.	Sem fluxo
		2.	Mais fluxo
		3.	Menos fluxo
		4.	Fluxo Reverso
		5.	Alta temperatura
		6.	Baixa temperatura
		7.	Alta Pressão
		8.	Baixa Pressão
		9.	Alto nível / High Level
		10.	Baixo Nível / Low Level
		11.	Contaminação
		12.	Vazamento/ruptura (perda de contenção)

(conclusão)

Nó		Desvios	
3.		13.	Riscos de Manutenção

	Recebimento de ácido sulfúrico pelo modal rodoviário	14.	Mais Reação Química
		15.	Instalação de Campo
		16.	Fatores Humanos

Fonte: Autor (2025)

Para a identificação dos possíveis desvios, foram aplicadas 16 palavras-guia. O processo de análise não foi meramente documental; ele ocorreu por meio de sessões de brainstorming técnico, onde cada nó foi discutido à luz das experiências operacionais e dados de projeto. O método seguiu cinco etapas essenciais:

- **Determinar desvios:** Cruzamento entre parâmetros (ex: Vazão) e palavras-guia (ex: Maior que).
- **Causas e Consequências:** Discussão técnica para identificar cenários sem considerar salvaguardas (risco inerente).
- **Avaliação de Salvaguardas:** Verificação da eficácia de barreiras como intertravamentos (SIS) e alarmes.
- **Avaliação de Risco:** Uso da matriz para definir o nível de criticidade.
- **Recomendações:** Geração de ações para reduzir o nível do risco.

Dentro do software PHA Pro, as informações foram tratadas de forma hierárquica. O software permitiu que cada cenário fosse priorizado automaticamente através do cálculo do Risk Ranking. Além disso, os dados foram filtrados para identificar falhas que afetam múltiplos nós, permitindo uma visão sistêmica que planilhas comuns de Excel não ofereceriam com a mesma precisão.

A avaliação qualitativa seguiu a Matriz de Riscos da empresa objeto de estudo, cujos critérios de tolerabilidade foram gerados com base em quatro vertentes de impacto: Segurança Ocupacional, Meio Ambiente, Perda Financeira e Imagem Institucional. Para cada cenário identificado no HAZOP, atribuiu-se um nível de risco ao realizar o cruzamento do eixo de frequência e severidade definindo a criticidade do cenário (Baixo, Médio, Alto ou Crítico), conforme ilustrado na Figura 3:

Figura 3 – Matriz de Riscos da Empresa

		Severidade da Consequência				
		S1-Lesão única de primeiros socorros	S2-Lesão que requer cuidados médicos	S3 - Lesão grave única	S4-Múltiplos ferimentos graves, uma ou mais mortes ou qualquer impacto externo à saúde pública	
Frequência	<1 ano	L4- Pode ocorrer pelo menos uma ou mais vezes por ano	Y (1)	O (2)	R (3)	R (3)
	1 a 10 anos	L3-Pode ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação	G (0)	Y (1)	O (2)	R (3)
	10 a 100 anos	L2-Pode ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	G (0)	G (0)	Y (1)	O (2)
	>100 anos	L1- Não se espera que ocorra durante a vida útil da instalação	G (0)	G (0)	G (0)	O (1)
	>10000 anos	L0- Não se espera que ocorra em 1000-10000 anos	G (0)	G (0)	G (0)	G (0)

* Lesão grave inclui perda de tempo e/ou lesão permanentemente incapacitante
 Nota: E – Environmental (Meio Ambiente) | S – Safety (Segurança) | L – Level (Nível)

Fonte: Procedimento interno de análise de riscos (2025).

Essa etapa possibilitou a identificação de nós, dos parâmetros do processo, dos cenários de risco, suas causas e consequências, bem como a avaliação do nível de risco e das recomendações de controle. Sendo assim, foi realizada uma verificação da aplicabilidade prática do estudo HAZOP, assegurando a aderência aos princípios do PSM no contexto específico da indústria de fertilizantes.

3.4 AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE RECOMENDAÇÕES

Para garantir o adequado acompanhamento das ações derivadas do estudo HAZOP, as recomendações foram registradas em uma planilha Excel, contemplando informações essenciais para priorização e tomada de decisão. Essa planilha permitiu consolidar de forma estruturada todas as recomendações geradas no HAZOP, assegurando responsável, prazo e hierarquia de controle definidos para cada ação, além de facilitar a priorização das intervenções com base no nível de risco e o acompanhamento de sua implementação. O registro dos níveis de risco permitiu uma visão clara do impacto esperado das medidas corretivas e possibilitou documentar os cenários aprovados pela gerência, garantindo a integração e aprovação nas decisões estratégicas junto ao processo. Dessa forma, o método adotado assegura rastreabilidade e alinhamento com os princípios do PSM, contribuindo para a melhoria contínua da segurança operacional da planta de ácido sulfúrico.

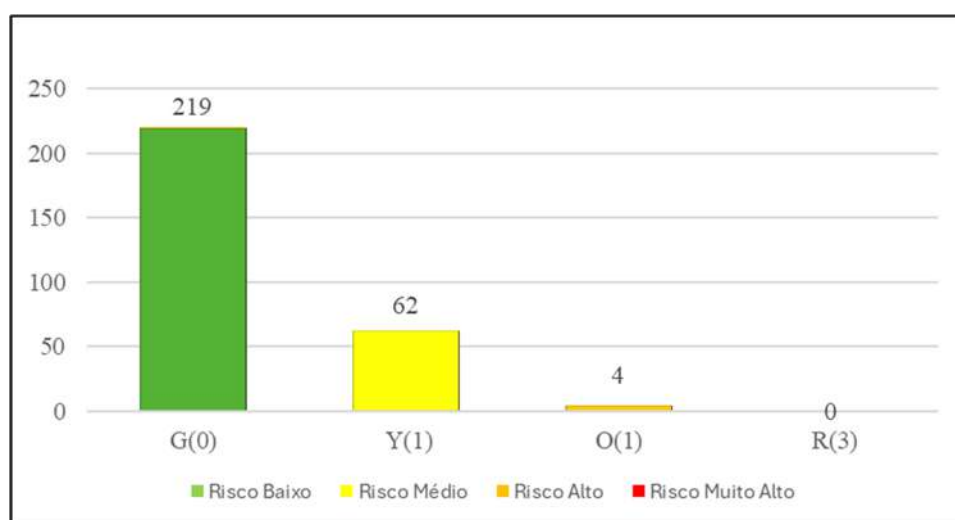
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados são apresentados considerando três eixos principais: (i) cenários identificados e classificação de risco, (ii) nó mais crítico do processo de ácido sulfúrico (iii) consolidação dos cenários identificados e distribuição dos riscos e as recomendações resultantes.

4.1 CENÁRIOS IDENTIFICADOS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

Após aplicação da análise HAZOP foi possível avaliar todos os riscos do sistema de ácido sulfúrico. Durante a análise dos 15 nós estudados, foram identificados 285 cenários acidentais, os quais foram classificados de acordo com frequência, severidade e risco, seguindo os critérios da matriz de aceitabilidade de riscos da Figura 3. Os cenários foram distribuídos conforme o risco residual dos controles existentes. Dessa forma os cenários classificados como risco baixo (G) localizam-se na região verde da matriz; os de risco médio (Y) encontram-se na região amarela; enquanto os de risco alto (O) e risco muito alto (R) estão posicionados nas regiões laranja e vermelha respectivamente. A distribuição desses cenários pode ser vista no Gráfico 1:

Gráfico 1 – Cenário dos Riscos Residuais



Fonte: Autor (2025).

Foram identificados 285 cenários, sendo 219 classificados como de risco baixo, 62 como risco médio e 4 como risco muito alto. Esses cenários representam o risco residual, ou seja, o risco que persiste após a implementação dos controles existentes. Os 4 cenários de risco muito alto são os de maior gravidade e exigem atenção especial para a implementação de

medidas para redução do risco até níveis aceitáveis. Podemos observar que a análise permitiu identificar os cenários mais críticos, confirmando o poder sistemático da técnica de HAZOP conforme preconizado por Crawley e Tyler (2015), possibilitando a indicação de recomendações para esses cenários visando reduzir o risco residual. Essa priorização orientou a uma análise detalhada do nó mais crítico do sistema, o recebimento de ácido por modal rodoviário, que envolve a interação direta do operador com o produto químico e apresenta a maior severidade e probabilidade de ocorrência de desvios operacionais em decorrência da presença do fator humano.

4.2 CENÁRIOS IDENTIFICADOS E CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

Após a aplicação da análise HAZOP em todo o sistema de ácido sulfúrico, o nó mais crítico identificado foi o recebimento de ácido por carreta (modal rodoviário), devido à interação direta do operador com o produto químico o que torna o risco inerente mais elevado e sensível a desvios operacionais ao manusear, transferir e controlar a substância. Ainda que outros nós, como manutenção de tubulações e vazamentos em flanges, apresentem riscos significativos, o nó de recebimento se destaca pela sua criticidade.

Devido ao grande número de cenários gerados, optou-se por detalhar apenas este nó no presente estudo conforme demonstrado no Apêndice A, onde está incluída a planilha HAZOP completa com os resultados para esse nó crítico. Essa escolha foi feita para mostrar a aplicação completa da metodologia sem tornar o trabalho excessivamente longo. Já os demais cenários apresentam, em geral, riscos mais baixos ou médios, muitas vezes mitigados por controles operacionais existentes, como diques de contenção, que reduzem substancialmente o impacto ambiental em caso de vazamento.

A demonstração no apêndice evidencia como o processo HAZOP foi utilizado de forma prática para identificar os riscos mais críticos e priorizar recomendações com o objetivo de reduzir o risco residual a níveis aceitáveis, com atenção à segurança do operador e à proteção ambiental. Vale ressaltar também que nem todas as 16 palavras-guia do HAZOP foram relevantes para esse nó: termos como “alta temperatura”, “baixa temperatura”, “alto nível” e “baixo nível” não geraram desvios significativos para saúde, meio ambiente ou segurança nesse ponto do processo. Por isso, o estudo focou nos desvios mais pertinentes à realidade operacional, garantindo maior precisão na identificação e mitigação dos riscos de fato mais relevantes.

4.3 CONSOLIDAÇÃO DOS CENÁRIOS E DISTRIBUIÇÃO DOS RISCOS E AS RECOMENDAÇÕES RESULTANTES.

Como resultado dessa análise, foram propostas 21 recomendações para os cenários classificados como “Alto” e “Muito Alto”. Essas ações têm o objetivo de elevar o nível de segurança da área industrial estudada, otimizando o controle do risco e a proteção dos operadores. Após a identificação e classificação desses cenários por meio da análise HAZOP, os riscos foram consolidados e distribuídos de acordo com critérios de frequência, severidade trazidos por Aguiar (2001) e impacto em segurança, saúde e meio ambiente. Estão contempladas tanto ações de mitigação quanto preventivas conforme detalhado na Quadro 6:

Quadro 6 – Lista de Recomendações

(continua)

Recomendações	Prevenção ou Mitigação	Hierarquia de Controle	Responsabilidade	Data Prevista	Risco Máximo		
					Risco Inerente	Risco Residual	Risco Proposto

(continua)

Recomendações	Prevenção ou Mitigação	Hierarquia de Controle	Responsabilidade	Data Prevista	Risco Máximo		
					Risco Inerente	Risco Residual	Risco Proposto
1. Definir inspeção periódicas nos dispositivos críticos, a fim de garantir a confiabilidade e segurança (inspeção trava-quedas, cinto, talabarte)	Prevenção	Engenharia Manual	Coordenador Manutenção	20/09/2026	Y ¹	G ^o	
2. Garantir a impermeabilidade do dique de contenção, prevenindo contaminação em caso de vazamento. Conforme ABNT NBR 17505	Prevenção	Engenharia Manual	Gerente Manutenção	10/11/2027			
3. Garantir torque adequado as bocas de visita dos tanques, conforme ASME B.31	Prevenção	Engenharia Manual	Engenheiro de Manutenção	20/09/2026	O ²	Y ¹	

4. Instalar cortina de isolamento na entrada da área de tancagem, impedindo o respingo de produto	Mitigação	Administrativo	Segurança e Saúde	10/11/2026	R3	Y ¹	G ^o
5. Definir especificação do mangote e periodicidade para troca de mangote e definir posição para o mangote não ficar no chão, seguindo a norma ISGOTT 6th	Prevenção	Engenharia Manual	Coordenador de Produção	10/11/2026	O ²	Y ¹	G ^o
6. Verificar se flanges na tancagem e os cadastrados para compra estão sendo seguidos pela norma, conforme a ANSI B 16.5.	Prevenção	Engenharia Automática	Coordenador Manutenção	30/10/2026			
7. Fabricar travamento em X para impedir a entrada de pessoas na bv dos tanques, durante a realização de atividades	Prevenção	Engenharia Automática	Coordenador Manutenção	11/12/2026			
8. Instalação de PT (transmissor de pressão) na linha de alimentação do MX, limitando a pressão conforme a especificação e características do arranjo e tubulação - sobrepressão na linha	Prevenção	Engenharia Automática	Automação e Elétrica	2/2/2026			
9. Em abertura de linhas, utilizar a fita de flange Tyson, conforme procedimento	Mitigação	Engenharia Manual	Coordenador Manutenção	5/11/2026	O ²	Y ¹	G ^o

(continua)

Recomendações	Prevenção ou Mitigação	Hierarquia de Controle	Responsabilidade	Data Prevista	Risco Máximo		
					Risco	Risco	Risco
					isco	isco	isco

					Inerente	Residual	Proposto
10. Criação de lógica 101LAH04/08 identifica nível HIGH HIGH nos tanques de armazenamento, e automaticamente corta o fluxo e fechar as válvula 101HV10 e 101HV04	Prevenção	Engenharia Automática	Automação e Elétrica	12/3/2026	O ²	Y ¹	G ^o
11. Instalação de válvula pilotada 3" no abastecimento dos tanques de armazenamento, facilitando a tomada de decisões e mitigando riscos de EHS e operação	Prevenção	Engenharia Automática	Gerente Manutenção	10/11/2028	O ²	Y ¹	G ^o
12. Criação de lógica 101LAH01/05 identifica nível HIGH HIGH nos tanques de armazenamento, e automaticamente corta o fluxo e fecha as válvulas 101HV10 e 101HV04	Prevenção	Engenharia Automática	Automação e Elétrica	12/3/2026	O ²	Y ¹	G ^o
13. Criação de lógica 101LAH02/06 identifica nível HIGH HIGH nos tanques de armazenamento, e automaticamente corta o fluxo e fechar as válvulas 101HV10 e 101HV04	Prevenção	Engenharia Automática	Automação e Elétrica	12/4/2026	O ²	Y ¹	G ^o
14. Criação de lógica 101LAH03/07 identifica nível HIGH HIGH nos tanques de armazenamento, e automaticamente corta o fluxo e fecha as válvula 101HV10 e 101HV04	Prevenção	Engenharia Automática	Automação e Elétrica	12/5/2026	O ²	Y ¹	G ^o

15. Tratar dificuldades impostas pelo uso dos EPI's: - Capuz embaça durante atividade - Perda do tato com a utilização da luva de pvc com proteção anti impacto - Fadiga térmica Causas que podem aumentar o risco de lesão	Prevenção	Administrativo	Segurança e Saúde	10/11/2025	R3	Y ¹	G ^o
16. Avaliar estudo para automatizar conexão/desconexão do mangote ou criação de dispositivo para diminuir a exposição do operador ao realizar a conexão/desconexão do mangote	Prevenção	Substituição	-	-	R3	O ¹	O ¹

(conclusão)

Recomendações	Prevenção ou Mitigação	Hierarquia de Controle	Responsabilidade de	Data Prevista	Risco Máximo		
					Risco Inerente	Risco Residual	Risco Proposto
17. Realocar porta de entrada da guarita da tancagem - realizar entrada frontal, e não lateral	Mitigação	Administrativo	Engenheiro Civil	11/11/2026			
18. Realocar transmissor do medidor de vazão da tancagem - interface do operador deve ser na guarita ou afastada da rampa.	Prevenção	Substituição	Automação e Elétrica	10/11/2026			
19. Instalar protetor de flange em todas as conexões até a entrada do MX	Mitigação	Engenharia Manual	Engenheiro de Manutenção	20/11/2026			

20. Garantir a padronização de engates e conexões para todos os caminhões da descarga	Mitigação	Engenharia Manual	Gerente Produção	11/12/2026	O ²	G ^o	G ^o
21. Garantir o checklist de conformidade na origem do carregamento - operador recebe o checklist realizado na origem, ou realiza cross-check	Prevenção	Engenharia Manual	Gerente Produção	11/12/2026	O ²	G ^o	G ^o

Fonte: Autor (2025).

Entre os controles recomendados temos medidas de engenharia, administrativas e de proteção individual destinadas a mitigar os riscos residuais identificados no sistema. Entre os esses controles destacam-se: Uso de EPIs específicos (Tychem, luvas de acrílico anti-impacto, capuz cristal, botas, entre outros); Implementação de diques de contenção para redução de impactos ambientais em caso de vazamento; Instalação de botões de parada de emergência (ESD) para mitigação rápida de situações críticas; Padronização de flanges conforme normas ANSI B16.5, reduzindo riscos de vazamentos; Desenvolvimento e aplicação de Procedimentos Operacionais Seguros (POS) e Avaliações de Risco (ARA), garantindo que cada etapa seja conduzida de forma controlada e segura.

Sendo assim podemos verificar que o HAZOP nos permitiu não apenas a classificação e priorização, mas também o acompanhamento das ações propostas, definindo responsáveis, prazos e status de implementação. Dessa forma, a consolidação dos cenários e a aplicação das recomendações resultam em um processo seguro, controlado e auditável, integrando aspectos de segurança, saúde e meio ambiente ao gerenciamento operacional do sistema de ácido sulfúrico.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo aplicar a metodologia HAZOP no sistema de ácido sulfúrico de uma indústria de fertilizantes, contribuindo para o avanço das práticas de Gerenciamento de Segurança de Processos no contexto brasileiro. Por meio de uma abordagem mista combinando análise documental, inspeções de campo, entrevistas e aplicação estruturada da ferramenta, foi possível identificar desvios operacionais, mapear salvaguardas e avaliar o risco residual de forma sistemática. A metodologia demonstrou elevada capacidade de

detalhamento e sensibilidade para processos complexos que envolvem substâncias altamente perigosas.

Os resultados evidenciaram 285 cenários potenciais, dos quais quatro apresentaram risco residual alto, exigindo priorização de recomendações imediatas. O recebimento de ácido sulfúrico destacou-se como o nó mais crítico, reforçando a presença e fragilidade do fator humano e da necessidade de controles robustos em operações manuais. As 21 recomendações elaboradas contribuíram diretamente para o fortalecimento da cultura de segurança e para a aderência às melhores práticas internacionais.

Este estudo também evidencia que o Brasil ainda está em estágio inicial na adoção estruturada do PSM, com ausência de regulamentações específicas. Como limitações deste estudo, destaca-se o uso de apenas uma metodologia para análise de perigos de processos, e a análise aprofundada de um único elemento do PSM bem como a impossibilidade de detalhar todos os cenários identificados. Para investigações futuras, recomenda-se aplicar a metodologia LOPA para a análise de camadas em riscos críticos e avaliar a efetividade após a implementação das recomendações por meio de auditorias de barreiras e ampliar o estudo para outros elementos estruturantes do PSM, contribuindo para práticas mais maduras e integradas na indústria nacional.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, R. S. (2020). Análise de risco HAZOP numa planta de produção de etanol 2G. [sn].
- Batista, V. C. G., Rodrigues, Ê. F., & Garo Jr, W. R. (2024). SEGURANÇA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: PROPOSTA DE FORMULÁRIO DE GERENCIAMENTO DE MUDANÇAS. *South American Development Society Journal*, 10(30), 229-229.
- Bridges, W., & Clark, T. (2011, March). How to efficiently perform the hazard evaluation (PHA) required for non-routine modes of operation (startup, shutdown, online maintenance). In *7th Global Congress on Process Safety*.
- Crawley, F., & Tyler, B. (2015). HAZOP: Guide to best practice. Elsevier.
- de Souza, R. G., de Lima, A. P., & Lima, G. B. A. (2003). Gestão de Desempenho em Segurança de Processo: Estudo de Caso em uma Empresa de Energia.
- de Sousa, C. B., da Silva Mota, F. D. A., de Vasconcelos Leitão, A. B., Jaguaribe, D. C. A., Pereira, G. S., de Medeiros, N. C., ... & das Neves Almeida, M. (2024). ANÁLISE HAZOP DE UMA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA DE PETRÓLEO E SIMILARIDADE EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE

COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS PARA AVIAÇÃO (SAFs). *ARACÊ*, 6(3), 4502-4526.

de Oliveira Júnior, A. J. S., Gomes, A. R., & de Vasconcellos Machado, G. (2015). Metodologia de auditoria com foco em processo e risco. *Revista do TCU*, (132), 28-37.

De Paulo, W. D. L., Fernandes, F. C., Rodrigues, L. G. B., & Eidit, J. (2007). Riscos e controles internos: uma metodologia de mensuração dos níveis de controle de riscos empresariais. *Revista Contabilidade & Finanças*, 18, 49-60.

Dias, V. P., & Fernandes, E. (2006). Fertilizantes: uma visão global sintética.

Dinizio, M. D. C. D., & Martins, P. E. S. (2020). FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO DE RISCOS NA ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO: UM ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. *Ideias e Inovação-Lato Sensu*, 5(3), 83-83.

Eames, P. (2022). The HAZOP leader's handbook. In *How to Plan and Conduct Successful HAZOP Studies*. Elsevier Amsterdam, the Netherlands.

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing*, 62(1), 107-115.

Fernandes, R. L. (2021). Gestão de segurança de processos baseado em risco: implementação de um modelo de gestão de mudança em uma empresa operadora de campo de petróleo.

Gonzalez, R. S., & da Silveira Rossi, R. A. ESTUDO DE CASO DE IMPACTOS ECONÔMICO-FINANCEIROS ORIUNDOS DE FALHAS EM GERENCIAMENTO DE SEGURANÇA DE PROCESSOS, 2019.e

Goncalves Filho, A. P., Freitas, F. D. C. B., de Oliveira, M. R. G., & Ferreira, A. M. S. (2025). Learning from incidents in petrochemical companies in Brazil. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 93, 105501.

Kletz, T., & Amyotte, P. (2019). *What went wrong?: case histories of process plant disasters and how they could have been avoided*. Butterworth-Heinemann.

Mannan, S. (2013). *Lees' process safety essentials: Hazard identification, assessment and control*. Butterworth-Heinemann.

Occupational Safety and Health Administration. (1994). *Process safety management guidelines for compliance*. U.S. Department of Labor.

Ruppenthal, J. E. (2013). *Gerenciamento de riscos*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria.

Safety, R. B. P. (2007). Center for Chemical Process Safety.

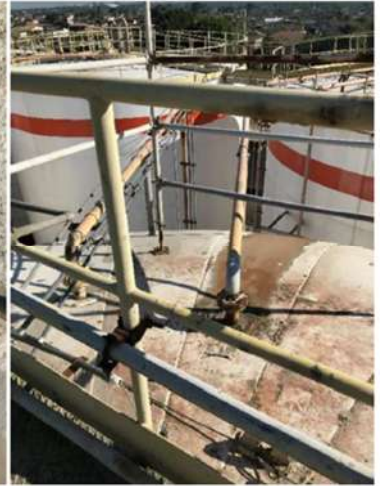
Santos, R. V. (2011). Análise preliminar de riscos em um setor da indústria química.

Silva, E. N., Maia, L., & Amaral, S. P. (2010, April). LOPA as a PHA complementary tool: a Case Study. In *SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Environment, and Sustainability?* (pp. SPE-127254). SPE.

SOUZA, R. G., LIMA, G.B.A. Importância dos elementos estruturantes de um programa de gestão de segurança de processo: estudo de caso em uma empresa de energia. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Jun. 2013.

APÊNDICE A — PLANILHA DE HAZOP NÓ DE RECEBIMENTO





ANEXO A — FLUXOGRAMA DE PROCESSO COM DEFINIÇÃO DE NÓS

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CARREGAMENTO DE CAMINHÃO NA LOGÍSTICA DE ARMAZÉM

Nicollas Simas de Oliveira (nicollassimas13@gmail.com)

Valderice Herth Junkes (valderice.junkes@unespar.edu.br)

Resumo: A eficiência no carregamento de caminhões é essencial para o desempenho das operações logísticas, especialmente em ambientes com alta rotatividade de cargas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo otimizar o processo de carregamento por meio da metodologia DMAIC, aliada à gestão de estoques e à reorganização do layout. O estudo foi desenvolvido em uma empresa portuária de grande porte, utilizando dados operacionais do WMS, cronometragens e observações diretas, totalizando 43 amostras compostas por ciclos de carregamento, deslocamentos de empilhadeiras e movimentação de pallets. As etapas do DMAIC orientaram o diagnóstico do processo atual, a segregação das cargas por tipo de operação, a reorganização do porta-pallet e a readequação da doca de carregamento. Após as melhorias, verificou-se aumento do indicador de Movimentações por Hora, cuja média passou de 18,81 para 23,30 pallets por hora; redução aproximada de 243% no tempo médio de deslocamento das empilhadeiras (de 1min19s para 23s); e diminuição do tempo de inventário de cargas perdidas, de 24 horas para 6 horas. Também houve aumento da aderência à meta operacional, de 53,96% para 63,57%. Os resultados evidenciam que a reorganização física, a padronização visual e a definição das áreas de armazenagem ampliaram a produtividade, a previsibilidade e a confiabilidade das operações. Em termos práticos, o estudo apresenta um modelo replicável a outras operações logísticas, reforça o DMAIC como ferramenta eficaz para melhoria contínua em ambientes de armazenagem.

Palavras-chave: DMAIC; Lean Six Sigma; Gestão de Estoque.

OPTIMIZING THE TRUCK LOADING PROCESS IN WAREHOUSE LOGISTICS

Abstract: Efficiency in truck loading is essential for the performance of logistics operations, especially in environments with high cargo turnover. In this context, this study aimed to optimize the loading process using the DMAIC methodology, combined with inventory management and layout reorganization. The study was conducted at a large port company, using operational data from the WMS, time analyses, and direct observations, totaling 43 samples composed of loading cycles, forklift movements, and pallet handling. The DMAIC steps guided the diagnosis of the current process, the segregation of loads by type of operation, the reorganization of the pallet rack, and the readjustment of the loading dock. After the improvements, there was an increase in the Movements per Hour indicator, whose average went from 18.81 to 23.30 pallets per hour; an approximate 243% reduction in the average travel time of forklifts (from 1 min 19 s to 23 s); and a decrease in the inventory time for lost loads, from about 24 hours to 6 hours. There was also an increase in adherence to the operational target, from 53.96% to 63.57%. The results show that physical reorganization, visual standardization, and the definition of storage areas increased productivity, predictability, and reliability of operations. In practical terms, the study presents a model that can be replicated in other logistics operations, it reinforces DMAIC as an effective tool for continuous improvement in storage environments.

Keywords: DMAIC; Lean Six Sigma; Inventory Management.

1. INTRODUÇÃO

A logística de armazém ocupa papel estratégico para a competitividade das empresas, sobretudo em cadeias de suprimentos que exigem agilidade, confiabilidade e redução de custos (Ballou, 2006; Cheng et al., 2024). Segundo Chramcov e Jemelka (2017), operações internas eficientes são determinantes para reduzir o tempo entre o pedido do cliente e a entrega efetiva, aumentando a performance logística.

Nesse contexto, o processo de carregamento de caminhões representa uma etapa crítica, pois marca a transição entre a armazenagem e a distribuição física dos produtos. Assim, a eficiência dessa operação está diretamente associada ao cumprimento de prazos, à integridade da carga e à satisfação dos clientes (Benítez-López; Camacho, 2021). Todavia, Gong e De Koster (2011) destacam que muitas empresas ainda enfrentam desafios relacionados à desperdícios, longos tempos de carregamento e má alocação de recursos operacionais.

Mas, o carregamento de caminhões não se resume apenas a movimentação física de mercadorias, trata-se de um processo que envolve também o planejamento da disposição da carga, considerando fatores como capacidade volumétrica, peso, estabilidade e sequência de entregas por carga (Bowersox, 2014). Gajda (2022), classifica esse desafio como um *Container Loading Problem* (CLP), caracterizado por restrições que abordam limitações de espaço, exigências legais e prioridades logísticas. A má execução desse processo pode resultar em desperdício de espaço, aumento de custos, danos às mercadorias e riscos à segurança no transporte.

Diversos estudos têm explorado abordagens baseadas em algoritmos e simulações computacionais para enfrentar esses desafios. Vitor Filho (2023), destaca o uso de Algoritmos Genéticos como ferramentas eficazes na resolução de problemas logísticos relacionados à otimização de carregamento, devido à sua capacidade de lidar com variáveis e cenários dinâmicos. De forma complementar, Ganske (2019) apresentou, por meio de um estudo de caso em uma siderúrgica, que a aplicação de princípios do Lean Manufacturing, como o mapeamento do fluxo de valor (MFV) e a definição de indicadores de desempenho (KPIs), pode reduzir significativamente o tempo médio de permanência de veículos durante o carregamento, demonstrando o impacto das práticas na melhoria dos processos logísticos.

Apesar desses avanços nas soluções tecnológicas aplicadas à logística, a literatura ainda apresenta uma lacuna quanto à aplicação prática dessas ferramentas no contexto específico do carregamento de caminhões em armazéns. Enquanto grande parte dos estudos concentra-se na roteirização de entregas ou em problemas de transporte externo (Benítez-López; Camacho, 2021; Gajda et al., 2022), observa-se escassez de pesquisas voltadas à otimização das operações internas. Além disso, as soluções propostas frequentemente não consideram a realidade de empresas com estruturas físicas e tecnológicas limitadas, o que inviabiliza sua aplicação.

Diante dessa lacuna, este estudo teve como objetivo aplicar a ferramenta DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) ao processo de carregamento de caminhões em armazéns, visto que essa abordagem fornece um método estruturado para diagnosticar causas raiz, propor melhorias baseadas em dados e padronizar os processos, preenchendo a ausência de organização e padronização no cenário inicial. Para isso, realizou-se um levantamento detalhado do processo, com identificação das atividades críticas, problemas operacionais e uso de recursos. Na sequência, foram coletados dados operacionais utilizando de cronometragens e análise de relatórios operacionais, possibilitando uma visão clara do

desempenho atual. Com base nas etapas do DMAIC, foram propostas melhorias como a reorganização do layout do estoque, a padronização de tarefas e a definição de indicadores de controle. O estudo também incorporou fundamentos da Gestão de Estoques e da filosofia Lean, visando à eliminação de desperdícios, aumento da produtividade e sustentação dos resultados obtidos.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribuiu para a discussão sobre o carregamento como uma etapa crítica na logística interna, destacando sua relevância dentro da cadeia de suprimentos e propondo uma organização para seu estudo. Já no contexto prático, as contribuições incluem sugestões aplicáveis à realidade de armazéns que operam com recursos limitados, oferecendo alternativas viáveis para melhorar o desempenho operacional, reduzir custos logísticos e aumentar a conformidade das entregas.

Inserido na área da ABEPRO de “Engenharia de Operações e Processos”, este estudo contribui tanto para o avanço metodológico da área, ao demonstrar a aplicação do DMAIC em operações internas de armazém, quanto para a prática profissional, oferecendo um modelo estruturado e replicável para otimização do carregamento em ambientes logísticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresentou o referencial teórico, abordando dois temas principais: (i) DMAIC em operações logísticas, e (ii) Gestão de estoque no armazém.

2.1. DMAIC EM OPERAÇÕES LOGÍSTICAS

A metodologia DMAIC aborda o principal método de aplicação do Lean Six Sigma para a melhoria estruturada de processos, combinando a identificação de problemas, a análise baseada em dados e a implementação de soluções sustentáveis. Sua aplicação em operações logísticas tem se mostrado eficaz na redução do tempo de ciclo, na padronização de tarefas e no aumento da confiabilidade operacional (George, 2003; Belchior et al., 2018).

Ganske (2019), em um estudo de caso com foco na expedição de uma siderúrgica, demonstrou que a aplicação do mapeamento do fluxo de valor e a definição de indicadores de desempenho levaram à redução de 30% no tempo de carregamento. Esses resultados demonstram como a integração de metodologias Lean pode gerar ganhos visíveis na logística interna. Para contextualizar a metodologia adotada neste estudo, a Figura 1 apresenta a estrutura do ciclo DMAIC, destacando suas cinco fases e seus respectivos objetivos no processo de melhoria contínua.



Figura 1 – Estrutura do DMAIC.

Fonte: LinkedIn (2022).

Nesse contexto, destaca-se o método DMAIC ilustrado na Figura 1, uma abordagem estruturada voltada à melhoria contínua de processos, muito utilizada no contexto do Six Sigma. De acordo com George (2003), esse método permite identificar causas raízes de problemas, propor soluções com base em dados e padronizar os processos otimizados. Na logística, o DMAIC tem sido adotado como um caminho metodológico para reduzir variações, eliminar desperdícios e garantir padronização operacional (Gijo et al., 2011).

Na etapa “Definir”, estabelece-se claramente o problema, os objetivos da melhoria e o escopo do processo em análise. Em seguida, na fase de “Medir”, são coletados dados relevantes para quantificar o desempenho atual do processo. A fase de “Análise” busca diagnosticar as causas raízes dos problemas, utilizando ferramentas como diagrama de causa e efeito e gráfico de Pareto. Em cenários logísticos, essas etapas ajudam a localizar problemas no carregamento, atrasos na separação e falhas na alocação de recursos (George, 2003).

As etapas “Melhorar” e “Controlar” são voltadas à implementação das soluções propostas e controle dos resultados. Melhorias podem incluir reorganização de layout, padronização de atividades e treinamento de equipes, baseadas em dados obtidos nas fases anteriores. Já o controle se dá por meio da definição de KPIs e planos de ação para monitoramento. Segundo Gijo et al. (2011), a aplicação sólida do DMAIC em processos logísticos contribui para a padronização das melhorias, elevando a qualidade e a eficiência operacional a longo prazo.

2.2. GESTÃO DE ESTOQUE NO ARMAZÉM

A gestão eficiente de estoques é um dos pilares para garantir fluidez no carregamento

de caminhões. A desorganização de estoques pode resultar em atrasos, retrabalhos e congestionamento nas áreas de expedição. Segundo Yadav et al. (2017), práticas como endereçamento lógico, a classificação ABC e a realização inventário cíclico são fundamentais para melhorar o acesso aos produtos e acelerar o processo de *picking*.

O posicionamento físico dos produtos no armazém também exerce influência significativa no tempo de carregamento. Em estudos aplicados à simulação de processos, Chramcov & Jemelka (2017), identificaram que alterações no layout baseadas na frequência de rotatividade de itens podem reduzir em até 15% o tempo total de separação de pedidos.

Além disso, o uso de técnicas de *slotting logístico*, que consiste na classificação dos itens segundo critérios como frequência de movimentação, volume, peso e compatibilidade operacional, seguida da alocação desses itens em posições estratégicas mais próximas às áreas de expedição, demonstra ser uma prática eficaz para reduzir movimentações internas e otimizar a eficiência do *picking*. De acordo com Petersen (2005), a aplicação correta do slotting pode resultar em uma diminuição no tempo de separação de pedidos e na melhora do desempenho operacional, principalmente em ambientes com alta rotatividade de cargas. Dessa forma, a gestão eficiente dos estoques, juntamente à aplicação de técnicas de organização e priorização de itens, contribui diretamente para a redução do tempo total de carregamento.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta seção foi dividida em quatro fases principais: (i) definição do escopo de aplicação, (ii) coleta e organização dos dados, (iii) aplicação do método DMAIC ao processo de carregamento de caminhões, e (iv) otimização da gestão de estoques no armazém. Portanto, o estudo adotou uma abordagem de método misto. Tashakkori e Creswell (2007) destacam que essa metodologia combina a análise quantitativa, pela coleta e processamento de dados numéricos (tempos operacionais, indicadores logísticos, desempenho de estoque), e qualitativa, pela análise interpretativa do contexto organizacional, mapeamento de processos e identificação de oportunidades de melhoria por meio de observações e reuniões com stakeholders.

Essa estrutura metodológica foi escolhida por permitir a compreensão integrada dos aspectos técnicos e gerenciais do processo estudado, em consonância com a natureza interdisciplinar da logística e da engenharia de produção.

3.1. ESCOPO DA APLICAÇÃO

A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa de grande porte localizada na região Sul

do Brasil, atuante no setor portuário e de logística integrada. A companhia foi selecionada como objetivo de estudo por apresentar alto volume operacional e desafios logísticos voltados ao processo de carregamento de caminhão. A organização é especializada na movimentação de contêineres e na gestão de operações em armazém alfandegado. Seu fluxo logístico apresenta diversas modalidades de armazenagem e expedição, com destaque para o processo de carregamento de caminhões, foco central deste estudo.

Com uma estrutura que conta com mais de 1.700 colaboradores e uma média anual superior a 5 mil caminhões carregados, a empresa apresenta desafios operacionais associados à eficiência do processo de carregamento, tais como longos tempos de deslocamento interno, dificuldade de localização das cargas e variabilidade no desempenho das operações. Nesse contexto, a ineficiência é caracterizada pelo não atendimento consistente à meta de tempo de carregamento, pelo elevado retrabalho operacional. Assim, este estudo teve como objetivo central aplicar o método DMAIC ao processo de carregamento de caminhões, visando diagnosticar as causas das ineficiências e propor melhorias estruturadas para a otimização do desempenho operacional. A partir da definição desse escopo organizacional, a etapa seguinte consistiu na coleta estruturada de dados operacionais, conforme apresentado na seção seguinte.

3.2. COLETA DE DADOS DA APLICAÇÃO

A coleta de dados foi realizada ao longo do ano de 2025. Inicialmente, foram extraídos dados históricos do sistema de WMS (*Warehouse Management System*), contendo registros de tempos de carregamento e movimentações logísticas internas das empilhadeiras. Paralelamente, foram conduzidas observações diretas em campo, com foco na identificação de variações operacionais não captadas nos sistemas. Para as medições de tempo, foram utilizadas planilhas, cronômetros digitais e registros das máquinas, importados diretamente do WMS.

Ao todo, foram realizadas 43 observações diretas, conduzidas de forma aleatória ao longo do período de coleta, distribuídas da seguinte forma: 20 observações do processo de troca de docas pelas empilhadeiras de pequeno porte; 3 cronometragens do processo de carregamento; 10 observações comparativas do cenário “antes e depois” das melhorias voltadas ao porta-pallet; e 10 coletas destinadas ao cálculo do indicador MPH (movimentações por hora). Também foram levantadas informações referentes ao estoque porta-pallets, como tempo médio de armazenagem por processo e frequência de demanda, permitindo avaliar o impacto da organização do estoque no desempenho do carregamento.

Após a coleta, todos os dados passaram por um processo estruturado de tratamento e

validação. Inicialmente, foi realizada uma conferência cruzada entre os registros coletados em campo (cronometragens e observações diretas) e as informações extraídas do WMS, garantindo consistência entre as duas fontes. Em seguida, foram aplicados critérios de exclusão para eliminar registros incompletos, duplicados ou que apresentassem falhas de leitura nos sistemas. Para o tratamento de outliers, foram analisados os tempos de operação que se desviavam significativamente da distribuição central; valores associados a interrupções atípicas, como desvios de atividade do operador, paradas não planejadas ou interferências externas, foram desconsiderados para evitar distorções nos resultados.

A repetibilidade das medições foi garantida por meio da padronização dos procedimentos de cronometragem, realizados com o auxílio de cronômetros digitais, iniciando a contagem no momento da retirada da carga da posição de armazenagem e finalizando ao término do carregamento na doca correspondente. As medições foram repetidas em ciclos distintos, sob condições operacionais semelhantes, de modo a reduzir a influência de fatores externos e aumentar a confiabilidade dos tempos registrados. Esse conjunto de validações conferiu maior confiabilidade aos dados utilizados, permitindo quantificar com precisão o desempenho do processo e fornecer informações confiáveis para as fases Medir e Analisar do DMAIC.

3.3. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC NA LOGÍSTICA DE ARMÁZEM

O ciclo DMAIC da metodologia Six Sigma foi adotado para estruturar as ações de diagnóstico, melhoria e controle do processo de carregamento.

3.3.1 DEFINIR

A fase de definição teve como objetivo identificar o problema a ser tratado e estabelecer o escopo da melhoria. Foram realizadas reuniões com líderes operacionais e gestores da área do processo para compreender os problemas da operação, considerando que as cargas armazenadas no armazém possuem características operacionais semelhantes, diferenciando-se pelos clientes atendidos. Entre os pontos mais citados estiveram a alta demanda simultânea de diferentes atividades dentro do armazém e o uso ineficiente de recursos críticos, como empilhadeiras e áreas de doca. Com o objetivo de consolidar o diagnóstico, foram mapeados os principais indicadores operacionais relevantes ao processo.

Assim, a fase Definir estabeleceu o problema a ser tratado, abordando não apenas a inconsistência central, mas também seus impactos operacionais. Ao organizar os indicadores e compará-los com as metas estabelecidas, esta etapa forneceu um diagnóstico que orientou todo

o ciclo do DMAIC. Dessa forma, a etapa funcionou como estruturação metodológica do projeto, garantindo direcionamento e coerência ao processo de tomada de decisão nas próximas fases.

3.3.2 MEDIR

Na etapa Medir, foram levantados dados quantitativos e qualitativos para caracterizar o desempenho atual do processo e estabelecer uma linha de base confiável para análise. Os dados quantitativos compreenderam tempos de carregamento, tempos de deslocamento das empilhadeiras, número de movimentações por hora (MPH) e registros de inventário extraídos do sistema WMS, além dos tempos obtidos por meio de cronometragens presenciais. Já os dados qualitativos foram coletados por meio de observações diretas em campo, voltadas à identificação de variações operacionais, interferências entre processos, dificuldades de localização de cargas e padrões de organização do estoque. Inicialmente, foi realizado o mapeamento do processo para garantir uma visualização clara da operação, permitindo estruturar e orientar as medições subsequentes.

O mapeamento do processo teve como objetivo principal representar visualmente o fluxo real de atividades envolvidas no carregamento de caminhões, desde a apresentação de agendamento do motorista até a finalização da expedição. Para isso, foi utilizado o software Microsoft Visio, que permitiu a elaboração de fluxograma com detalhamento de etapas e responsáveis. A construção do mapa contou com o apoio de gestores operacionais, esse nível de detalhe foi importante para reconhecer atividades que não agregam valor e localizar oportunidades de padronização.

A coleta de dados abrange dados do período de 2024 a novembro de 2025, contemplando diferentes turnos e tipos de carga. Para garantir a representatividade, foram observados carregamentos em dias de maior e menor demanda. Os dados foram organizados em planilhas, com cálculo de médias, desvios e gráficos de linha para facilitar a interpretação.

A medição do processo foi conduzida com cronometragem direta, utilizando cronômetro e planilhas específicas, com foco na mensuração precisa dos tempos de execução das atividades observadas no fluxo de carregamento. Para contextualizar os recursos avaliados, a Figura 2 apresenta as empilhadeiras observadas durante as medições de tempo.



Figura 2 – Empilhadeira trilateral e empilhadeira de pequeno porte.

Fonte: Freepik (2025).

Assim, a coleta dos dados foi realizada manualmente, consistindo na execução de três medições do processo utilizando a ficha apresentada na Figura 3, abrangendo as atividades como movimentação de equipamentos, preparação da carga, posicionamento na doca, carregamento e tempos de espera. Os dados foram coletados em diferentes dias e analisados estatisticamente com médias e desvios padrão.

Relatório de Cronometragem						
Equipe Envolvida <input type="checkbox"/> Serventes <input type="checkbox"/> Aportador <input type="checkbox"/> Empilhadeira Porte Pequeno <input type="checkbox"/> Empilhadeira Trilateral					PROCESSO:	
Nome do Cronometrista					TURNO:	
Data					AVARIA:	
Local					OBS DA AVARIA:	
Estado						
Horário de Início						
Horário de Fim						
ETAPA	DESCRIÇÃO DA ETAPA	HORÁRIO INÍCIO	HORÁRIO FIM	TEMPO	OBSERVAÇÕES	
1	Reserva na recepção					
2	Caminhão posicionado					
3	TFI baixar as cargas do porta pallet					
4	Aportador conferir a carga					
5	Operador de empilhadeira porte pequeno carregar a carga					
6	Recepção e aportador realizar expedição					
		TEMPO TOTAL:				
Movimentações						
Numeração	Máquina	Descrição	Horário Início	Horário Fim	Tempo	Observação
1						
2						
3						
4						
5						
Observações						
Numeração	Descrição					
1						
2						
3						
4						
5						
PONTOS DE ATENÇÃO DO PROCESSO:						
OPORTUNIDADES DE MELHORIA DO PROCESSO:						
Responsável Inicial			Responsável Final			

Figura 3 - Ficha de cronometragem.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.3.3 ANALISAR

Com os dados obtidos, a etapa de Análise buscou identificar e priorizar as causas que impactavam negativamente o tempo de carregamento. Inicialmente, todos os problemas observados nas atividades de expedição foram estratificados em três dimensões: (i) turno

operacional, permitindo verificar se havia horários que ocorriam mais percas de carga e atrasos;

- (ii) local, diferenciando se as falhas estão relacionadas a docas, layout interno e porta pallet;
- (iii) tipo de produto, possibilitando identificar processos mais propensos a erros.

Para realizar a priorização e decidir sobre quais causas deveriam ser tratadas, foi elaborado um gráfico de Pareto utilizando a frequência das ocorrências que mais impactaram o tempo de carregamento em 2025, conforme registros das planilhas operacionais da empresa. Os problemas foram organizados em categorias e a ferramenta mostrou que poucos fatores eram responsáveis pela maior parte dos atrasos, confirmando a concentração das ocorrências em itens como deslocamentos excessivos, falhas na localização de cargas e cruzamentos de rotas. As causas priorizadas foram posteriormente validadas por meio do cruzamento com os dados de tempo coletados nas cronometragens e com registros do WMS.

3.3.4 MELHORAR

A fase de Melhorar consistiu na formulação de soluções das causas diagnosticadas na etapa anterior. A principal melhoria desenvolvida foi a reorganização do layout do porta-pallet, fundamentada no tempo médio de permanência no estoque e seu volume de demanda. Essa reorganização buscou corrigir diretamente os problemas identificados anteriormente, como a distribuição inadequada das cargas e os longos deslocamentos internos das empilhadeiras.

Para garantir que a solução proposta fosse viável em diferentes condições operacionais, foram realizados testes por meio de simulações estruturadas no Excel, considerando a ocupação do estoque como variável crítica de análise. Três projeções de demanda foram definidas: (i) pessimista, (ii) provável e (iii) otimista, classificadas de acordo com o nível de utilização do porta-pallet. O cenário pessimista representou situações de alta ocupação do estoque, próximas à capacidade máxima, nas quais há maior risco de congestionamento e aumento de deslocamentos internos. O cenário provável aborda a ocupação esperada, refletindo a condição operacional mais frequente da empresa. Já o cenário otimista considerou períodos de baixa ocupação do estoque, com maior disponibilidade de posições.

Cada um desses cenários foi avaliado em três configurações distintas de distribuição das cargas (Planos 1, 2 e 3), resultando em nove combinações de teste. As simulações compararam a capacidade de armazenagem, o nível de ocupação das posições e a estabilidade operacional, permitindo identificar a melhor configuração para atender às variações de ocupação do estoque e às necessidades da empresa.

3.3.5 CONTROLAR

A última etapa do ciclo DMAIC visou garantir que as melhorias fossem viáveis ao longo do tempo. Para isso, foram definidos indicadores de controle relacionados ao desempenho do carregamento: (i) aderência a conclusão do carregamento em três horas (meta de 75%); (ii) Movimentações por Hora (MPH) e (iii) percentual de segregação correta das cargas no porta pallet. Esses KPIs passaram a ser monitorados semanalmente por meio de dashboards no Power BI, utilizando limites de controle estabelecidos a partir do comportamento histórico e das metas definidas.

Além disso, foi estruturada uma rotina de auditoria visual nas operações, realizada semanalmente pelos auditores de processo. As auditorias verificam a conformidade da segregação das cargas, a organização das áreas do porta pallet, o cumprimento dos padrões visuais implantados e a conformidade do fluxo nas etapas de preparação do carregamento. Sempre que identificadas não conformidades, são registrados apontamentos, responsáveis e prazos de ação, permitindo atuação preventiva.

Para complementar a sustentação das melhorias, foram utilizados os princípios do 5S, com foco nos sensores de Seiton (organização) e Seiketsu (padronização). A implementação teve como objetivo manter a lógica de segregação definida, garantir a correta ocupação das posições no porta-pallet e reduzir desvios operacionais ao longo do tempo. A padronização visual, unida à disciplina operacional promovida pelo 5S, contribuiu para a manutenção dos resultados obtidos, reforçando a estabilidade do processo de carregamento.

3.4. OTIMIZAÇÃO NA GESTÃO DE ESTOQUES DE ARMÁZEM

A etapa de otimização da gestão de estoques foi estruturada como parte do plano metodológico do projeto, sendo conduzida de forma paralela ao estudo do processo de carregamento. Inicialmente, foi realizado um mapeamento técnico dos quatro tipos de produtos armazenados (A, B, C e D), os quais possuem as mesmas características físicas e operacionais, diferenciando-se apenas pelo perfil de clientes atendidos. Para cada tipo, foram considerados o tempo médio de permanência, o giro operacional, a relevância estratégica e a demanda média.

Com essas informações classificadas, aplicou-se o conceito de *slotting logístico*, utilizado para orientar decisões de posicionamento dos itens no armazém. Para isso, foram definidos critérios técnicos como: proximidade das docas, volumetria ocupada, frequência de movimentação, impacto no fluxo de carregamento e tempo de resposta esperado. A partir desses critérios, foram simuladas diferentes distribuições do estoque, testando cenários alternativos de

ocupação do porta-pallet e comparando a eficiência das combinações possíveis.

Por fim, elaborou-se a proposta de redistribuição do estoque com base nos resultados das análises e simulações, definindo a posição ideal para cada processo logístico dentro do armazém. As decisões foram registradas em planilhas e modelos de layout utilizados como referência para implementação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a aplicação do método DMAIC, no processo de carregamento de caminhões. As melhorias implementadas concentraram-se na organização do estoque porta-pallet, na padronização operacional e na implantação de práticas de controle e acompanhamento de indicadores. Os resultados aqui discutidos foram obtidos das ações propostas, refletindo ganhos expressivos na eficiência operacional.

4.1. DEFINIR

A fase Definir do método DMAIC teve como finalidade estabelecer de forma clara o problema, estabelecer metas e compreender o contexto operacional no qual o processo está inserido. Buscou-se caracterizar o desempenho inicial do processo de carregamento, identificar seus principais desafios e alinhar os indicadores. Assim, com a análise desses indicadores, foi possível definir o cenário inicial do processo (Tabela 1).

Indicador	Valor Atual	Unidade	Meta
Aderência ao prazo de carregamento	53,96	%	75
Média de MPH	18,81	movimentos/hora	22
Tempo de inventário de cargas	24	horas	12

Tabela 1 - Metas e indicadores.

Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com a Tabela 1, apenas 53,96% dos carregamentos eram concluídos dentro do prazo de três horas, a média de MPH durante o período de coleta era de 18,81 movimentos por hora e que o inventário de cargas perdidas necessitavam cerca de 24 horas para ser concluído. Esses resultados evidenciam falhas ligadas à organização física do estoque, à ausência de padronização operacional e à existência de fluxos internos ineficientes.

A partir da definição do cenário inicial, realizou-se o mapeamento das principais atividades que compõem o processo de carregamento, conforme apresentado na Tabela 2.

Numeração	Processo
1	Reserva na recepção
2	Posicionamento e preparação do caminhão
3	Empilhadeira trilateral tirar a carga do estoque porta pallet
4	Apontador conferir a carga
5	Operador de empilhadeira porte pequeno carregar a carga
6	Recepção e apontador realizar expedição

Tabela 2 – Processos identificados.

Fonte: Autoria própria (2025).

Por meio da Tabela 2, é possível identificar as etapas desde a reserva na recepção até a expedição final da carga. Esse mapeamento foi importante para direcionar o planejamento das medições por cronometragem e seguir com as etapas posteriores de simulação e avaliação de melhorias.

Para complementar, foi realizado a caracterização dos tipos de produtos armazenados no armazém, apresentada na Tabela 3, considerando critérios como tempo médio de armazenagem, giro operacional e relevância estratégica. Os produtos armazenados são de tipos gerais, diferenciando-se pelos clientes atendidos.

Produto	Tempo Médio de Armazenagem	Giro	Relevância Estratégica
A	60 dias	Alto	2ª maior fonte de receita e ocupa ~60% do estoque
B	2 a 3 anos	Muito baixo	Baixa prioridade
C	20 dias	Baixo/Médio	Prioridade moderada

D	7 dias	Muito alto	Principal fonte de receita e maior prioridade
---	--------	------------	---

Tabela 3 – Tipos de produtos.

Fonte: Autoria própria (2025).

4.2. MEDIR

A fase Medir do método DMAIC tem como objetivo quantificar o desempenho atual do processo de carregamento, por meio da coleta de dados. Nesta etapa, busca-se estabelecer uma linha de base do processo, permitindo mensurar tempos, produtividade e variabilidade das atividades, que servirão de referência para as análises e proposição de melhorias nas fases subsequentes. Para mensurar o desempenho do processo de carregamento, foram realizadas cronoanálises das etapas operacionais, cujos tempos observados estão apresentados na Tabela 4.

Data	mov.	Etapas						Tempo Total
		1	2	3	4	5	6	
19/05/2025	8	00:04:26	00:08:31	01:45:16	02:19:21	02:16:36	00:02:47	03:46:46
23/05/2025	6	00:04:03	00:18:02	01:18:58	00:37:20	00:34:15	00:02:10	01:25:43
27/05/2025	8	00:31:53	00:30:05	03:05:12	02:31:37	02:28:42	00:04:20	03:57:33

Tabela 4 – Valores das cronometragens dos carregamentos.

Fonte: Autoria própria (2025).

A Tabela 4 apresenta os tempos observados nas três medições do processo de carregamento, detalhando os tempos individuais de cada etapa e o tempo total por teste. Os resultados evidenciam variações entre os dias analisados, refletindo diferenças nas condições operacionais, demanda e fluxo interno. Esses dados serviram como base quantitativa para as próximas etapas do DMAIC, principalmente para a avaliação do desempenho atual do processo e para a validação das causas relacionadas aos atrasos de carregamento. Para complementar as cronoanálises do processo de carregamento, foram realizadas coletas específicas do indicador de Movimentações por Hora (MPH), cujos resultados comparativos estão apresentados na Figura 4.

Amostras	Data	Amostras						Média	Média das médias	LSC	LIC	DESVIO PADRÃO	CP	CPK
D1	31/01/2025	00:01:24	00:01:20	00:01:41				00:01:28	00:01:45	00:02:47	00:00:44	00:00:21	1,00	1,00
D2	06/02/2025	00:01:44	00:01:41	00:02:04	00:01:55	00:01:51	00:02:13	00:01:55	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D3	06/03/2025	00:01:11	00:01:23	00:03:04	00:05:13	00:01:13	00:02:00	00:02:21	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D4	02/05/2025	00:02:14	00:00:42	00:02:11	00:02:58	00:01:36	00:01:05	00:01:48	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D5	14/05/2025	00:01:26	00:03:02	00:02:07	00:02:17	00:02:37	00:02:09	00:02:16	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D6	16/05/2025	00:01:37	00:01:28	00:01:17	00:01:57	00:01:26	00:01:33	00:01:33	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D7	21/05/2025	00:01:23	00:01:16	00:01:15	00:01:16	00:01:16	00:01:22	00:01:18	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D8	27/05/2025	00:01:21	00:01:58	00:01:22	00:01:20	00:01:52	00:01:41	00:01:36	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D9	30/05/2025	00:01:13	00:01:38	00:01:16	00:01:09	00:02:25	00:01:21	00:01:30	00:01:45	00:02:47	00:00:44			
D10	13/06/2025	00:02:07	00:01:32	00:02:27	00:01:31	00:01:31	00:01:48	00:01:49	00:01:45	00:02:47	00:00:44			

Figura 4 - Comparação de amostras do MPH.

Fonte: Autoria própria (2025).

Os testes de MPH foram aplicados para mensurar a produtividade dos operadores de empilhadeiras antes e pós a reorganização do layout. A Figura 4 apresenta as amostras coletadas no cenário anterior as mudanças, permitindo visualizar o comportamento real da operação. Durante esse período, a média das 10 amostras coletadas foi de 34 pallets movimentações por hora, valor utilizado como referência para a comparação com o cenário pós-implementação nas etapas posteriores do estudo. Com o objetivo de comparar o desempenho operacional antes e após a implementação das melhorias, a Figura 5 apresenta a comparação das amostras do indicador de Movimentações por Hora (MPH) nos cenários pré e pós-projeto.

Pré Projeto						
Numeração	Data	Corredores	Período avaliado	Pallets movimentados	Pallets movimentados por hora	Eficiência
1	29/01/2025	10	00:47:26	24	30,36	88,77%
2	31/01/2025	9	00:48:14	24	29,85	87,28%
3	06/02/2025	14	01:20:31	44	32,79	95,87%
4	11/03/2025	19	03:02:37	88	28,91	84,54%
5	15/04/2025	9	01:28:16	44	29,91	87,45%
Média					30,36	88,8%
Pós Projeto						
Numeração	Data	Corredores	Período avaliado	Pallets movimentados	Pallets movimentados por hora	Eficiência
1	02/07/2025	2	00:42:45	28,00	39,30	114,9%
2	08/07/2025	5	01:05:57	44,00	40,03	117,0%
3	02/08/2025	5	02:13:46	88,00	39,47	115,4%
4	05/08/2025	5	02:29:34	88,00	35,30	103,2%
5	02/09/2025	16	03:02:11	87,00	28,65	82,8%
Média					36,55	106,9%

Figura 5 - Comparação de amostras do MPH.

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 5 apresenta a comparação das amostras coletadas antes e após a implementação das melhorias, utilizando como referência o valor médio de 34 pallets movimentados por hora. No cenário de comparação pré-projeto, as amostras registraram média de 30,36 pallets por hora, enquanto no pós-projeto essa média foi de 36,55 pallets por hora. Esses valores representam amostras isoladas, utilizadas para validar a consistência das medições e o comportamento do indicador sob diferentes configurações operacionais.

4.3. ANALISAR

A fase Analisar do método DMAIC teve como objetivo identificar e compreender as causas raiz associadas ao baixo desempenho do processo de carregamento, a partir dos dados coletados na etapa de Medir. Foi abordado explicar por que os indicadores apresentavam resultados insatisfatórios, relacionando o comportamento operacional às características do layout, da organização do estoque e dos fluxos internos. Com base nos dados coletados na etapa de Medir, foi elaborado o Gráfico de Pareto apresentado na Figura 6, com o objetivo de identificar e priorizar as principais causas associadas aos atrasos no tempo de carregamento.

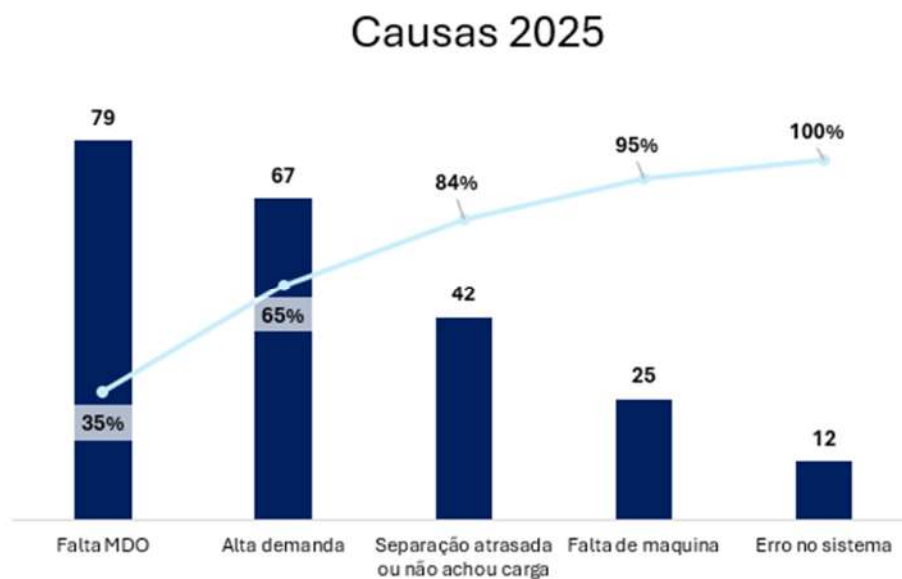


Figura 6 – Gráfico de Pareto dos problemas relacionados ao tempo de carregamento.

Fonte: Autoria própria (2025).

Com base nos dados levantados, foi elaborado o Gráfico de Pareto, apresentado na Figura 6, que consolidou as principais causas associadas aos atrasos no carregamento. Nota-se que os fatores mais relevantes estavam relacionados à separação atrasada e à dificuldade de localização das cargas, responsáveis pela maior parcela dos impactos no tempo total do processo. Esses resultados indicam que os atrasos não estavam concentrados em falhas pontuais, mas sim em problemas estruturais ligados à forma como o estoque estava distribuído e acessado no armazém.

Embora o Pareto também aborde causas como falta de mão de obra, alta demanda e indisponibilidade de máquinas, as soluções relacionadas a esses fatores chegaram a ser propostas à empresa. Porém, foi definido não avançar com sua implementação por dependerem de investimentos gerenciais de médio e longo prazo. Dessa forma, a análise concentrou-se em

causas internas e controláveis, passíveis de intervenção por meio da reorganização do layout, padronização operacional e revisão da lógica de armazenagem.

A análise foi aprofundada por meio da estratificação das causas, permitindo compreender de que forma a dispersão das cargas em um número elevado de corredores impactava diretamente o desempenho operacional. Identificou-se que a distribuição dos pallets ao longo de múltiplos corredores aumentava significativamente as distâncias percorridas pelas empilhadeiras, gerando movimentações improdutivas na etapa de separação das cargas. Esse cenário explica os valores iniciais inferiores de MPH.

Os resultados da estratificação reforçam que a ausência de uma lógica definida de segregação e centralização das cargas aumentava o esforço operacional para localizar e movimentar os produtos. Assim, a análise evidencia que a melhoria dos indicadores observados nas amostras posteriores está diretamente associada à redução do número de corredores utilizados, diminuindo os deslocamentos improdutivos.

4.4. IMPLEMENTAR

A fase Implementar do ciclo DMAIC teve como objetivo executar, as soluções definidas a partir das análises realizadas na etapa anterior. As ações foram direcionadas à eliminação das causas prioritárias relacionadas à segregação inadequada das cargas, à excessiva dispersão dos pallets no estoque e aos deslocamentos improdutivos das empilhadeiras. A segregação de cargas consiste na definição de locais específicos para o armazenamento, garantindo que cada item seja alocado conforme suas características operacionais e contribuindo para reduzir deslocamentos e aumentar a eficiência dos fluxos internos (Frazelle, 2016). As melhorias implementadas concentraram-se na reorganização do porta-pallet, na padronização visual das rotinas operacionais e na adequação do layout de expedição, buscando ganhos diretos em eficiência, fluidez e previsibilidade do processo de carregamento (Tabela 5).

Numeração	Ação	Impacto
1	Criação de planos para alta ocupação do estoque para os processos A, B, C e D	Plano de Contingência para cenários de alta ocupação
2	Monitorar o que foi armazenado no estoque, tendo controle das cargas que foram guardadas no local de segregação incorreto	Redução de erros de segregação e maior confiabilidade no inventário

3	Aplicação do 5S	Diminuição de retrabalhos de localização e melhoria da organização visual
4	Atualizar o layout do Armazém	Redução de deslocamentos internos e maior fluidez das rotas
5	Implementação de figuras do layout de segregação nas máquinas, para auxiliar os operadores	Suporte visual, evitando erros operacionais
6	Inserir placas no porta pallet, referente a qual processo deve ser armazenado no corredor em específico	Redução de dúvidas operacionais e padronização das rotinas
7	Realização de ajustes das cargas que estão armazenadas nos locais incorretos	Identificação rápida de desvios e correção preventiva
8	Criação de painel de controle no Power BI	Acompanhamento em tempo real dos erros de segregação e indicadores de acuracidade

Tabela 5 – Ações de melhoria para a segregação de cargas.

Fonte: Autoria própria (2025).

Com base nas causas priorizadas pelo pareto, foram realizadas as ações de melhoria apresentadas na Tabela 5, voltadas especificamente à reorganização do estoque e à padronização das rotinas de segregação. As melhorias incluíram a criação de planos de contingência para períodos de alta ocupação, aplicação de 5S, atualização do layout, implantação de sinalização visual e desenvolvimento de um painel de monitoramento no Power BI.

Essas medidas estão alinhadas ao que Baker e Canessa (2016) destacam como boas práticas para redução de variabilidade e aumento da fluidez operacional, além de seguirem princípios de organização de armazéns, que ressaltam a importância da padronização visual e da estruturação lógica do espaço para minimizar erros e retrabalhos. Como parte das ações de melhoria implementadas, foi realizada a atualização do layout do armazém, visando reorganizar as áreas de segregação e alinhar a disposição dos itens à lógica operacional definida no estudo, conforme ilustrado na Figura 7.

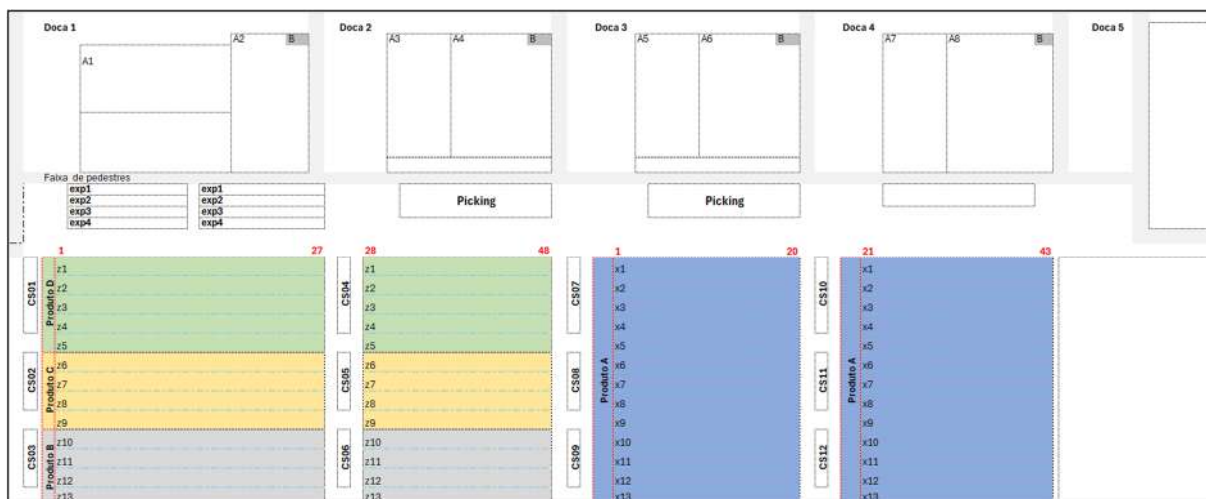


Figura 7 - Layout do Armazém.

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 7 ilustra o novo layout do armazém após a reorganização das áreas de segregação e definição das posições porta-pallet por processo. A estrutura garante uma distribuição mais racional e intuitiva dos itens, posicionando produtos de maior rotatividade próximos às docas correspondentes. Essa abordagem está alinhada ao que Osório (2019) destaca como boas práticas de projeto de armazéns, sendo reduzir distâncias percorridas e eliminar interferências internas para elevar a eficiência do sistema.

De maneira geral, as melhorias implementadas nesta etapa mostraram que mudanças estruturais no layout e na organização do estoque podem impactar diretamente o desempenho operacional do carregamento, mesmo sem a necessidade de investimentos elevados em recursos físicos ou tecnológicos. A aplicação das ações consolidou a base necessária para a avaliação quantitativa dos ganhos obtidos, apresentada na etapa Controlar.

4.5. CONTROLAR

A fase Controlar do ciclo DMAIC teve como objetivo garantir a sustentabilidade das melhorias implementadas, por meio do monitoramento dos indicadores de desempenho e da padronização das rotinas operacionais. Nesta etapa, foi realizado a avaliação da estabilidade dos resultados ao longo do tempo, verificar a aderência às metas estabelecidas e garantir que os ganhos obtidos fossem mantidos. Para avaliar a efetividade e a manutenção das melhorias implementadas, foi realizada a comparação do nível de segregação das cargas antes e depois da reorganização do estoque, conforme apresentado na Figura 8.

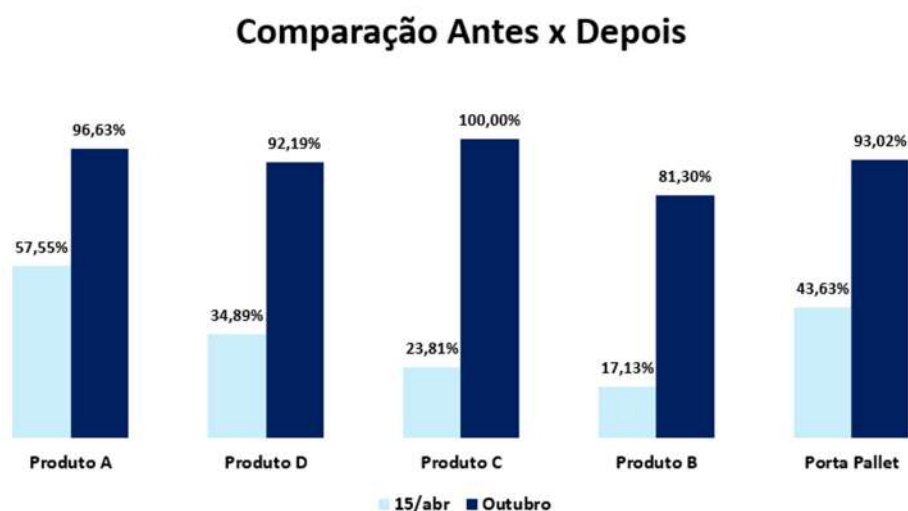


Figura 8 - Comparativo da segregação de cargas.

Fonte: Autoria própria (2025).

É apresentado na Figura 8 o comparativo do nível de segregação das cargas antes e depois da reorganização do estoque, evidenciando a expressiva evolução obtida com a implementação das melhorias. Observa-se um aumento significativo na assertividade de armazenamento para todos os produtos analisados, com destaque para o Produto C, que passou de 23,81% para 100%, e para o Produto B, cujo índice aumentou em 375%. O Produto A também apresentou avanço relevante, atingindo 96,63% de segregação correta, enquanto o Produto D evoluiu de 34,89% para 92,19%. No geral, o porta pallet atingiu 93,02% de conformidade, esse aumento na segregação contribuiu diretamente para a melhoria tempo de carregamento, reduzindo atrasos causados por não localização de cargas, como consequência, elevando a aderência à meta operacional de concluir 75% dos carregamentos dentro do tempo estabelecido.

Além das melhorias estruturais no porta-pallet, identificou-se a necessidade de adequar o fluxo de expedição para eliminar percursos excessivos entre o estoque e a doca de carregamento, especialmente para o produto de maior impacto operacional.

Com base nas análises de fluxo interno, foi proposta a mudança da doca utilizada pelo produto A para uma posição fisicamente mais próxima de seu respectivo estoque. Essa ação buscou alinhar o ponto de expedição à lógica de armazenagem definida na reorganização, reduzindo deslocamentos desnecessários e garantindo maior coerência entre entrada, separação e saída das cargas. Importante destacar que essa alteração foi realizada exclusivamente para o produto A, enquanto os demais produtos (B, C e D) mantiveram o carregamento na doca 1, uma vez que suas áreas de armazenagem já estavam adequadamente próximas da posição original

de expedição. Para visualizar o impacto da mudança da doca no fluxo interno de movimentação, foi elaborado um diagrama de espaguete das movimentações das empilhadeiras de pequeno porte, conforme apresentado na Figura 9.

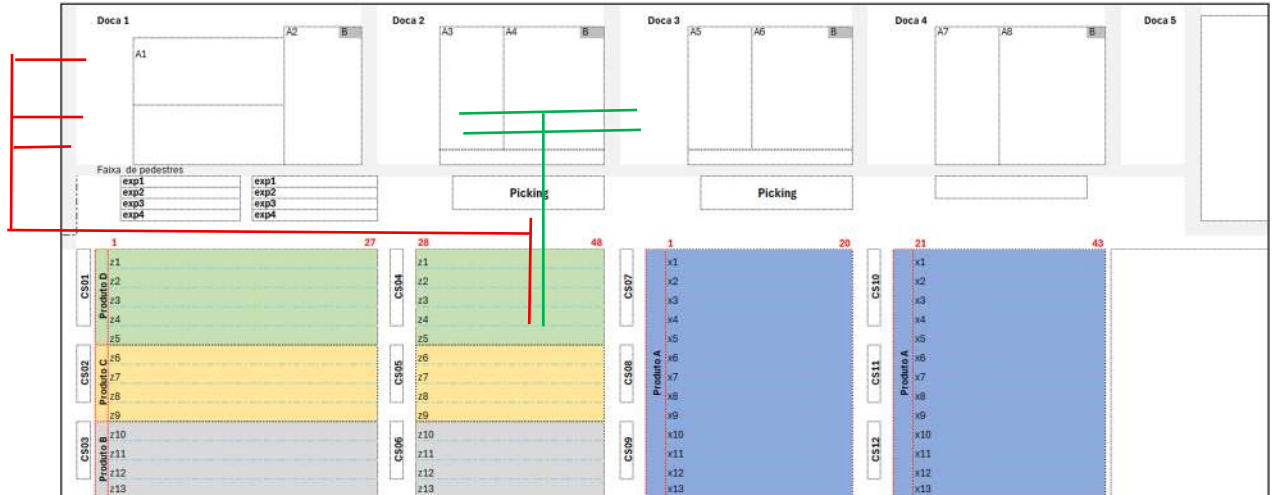


Figura 9 - Diagrama de espaguete das movimentações das empilhadeiras de pequeno porte para a expedição de cargas.

Fonte: Autoria própria (2025).

O impacto da readequação da doca no fluxo interno é representado na Figura 9, utilizando o Produto A como exemplo. As linhas em vermelho representam o trajeto anterior, que exigia aproximadamente 69,3 metros de deslocamento, com percursos longos, cruzamentos e interferências com outros processos. Após a mudança para a doca 3, indicada pelas linhas verdes, o trajeto foi reduzido para cerca de 13,5 metros, tornando o fluxo mais curto, direto e livre de conflitos operacionais. Essa redução aproximada de 413% no deslocamento demonstra como o alinhamento físico entre armazenagem e expedição aumenta a eficiência do carregamento.

A meta operacional da empresa estabelece que 75% dos carregamentos sejam concluídos em até três horas. Antes da implementação do projeto, a aderência média registrada pelo sistema WMS (2024) era de 53,96%, evidenciando grande variabilidade operacional e baixa previsibilidade no fluxo de expedição. Após as melhorias estruturais, incluindo segregação das cargas, readequação do layout, reorganização do porta-pallet, aplicação do 5S e otimização dos fluxos internos, a aderência média subiu para 63,57%, um avanço de 9,61% em relação ao cenário inicial. Para avaliar o comportamento da aderência ao prazo de carregamento ao longo do tempo e sua relação com a variação da demanda operacional, a Figura 10 apresenta a comparação mensal entre a demanda atendida e o indicador de cumprimento da

meta de 75% em 2025.

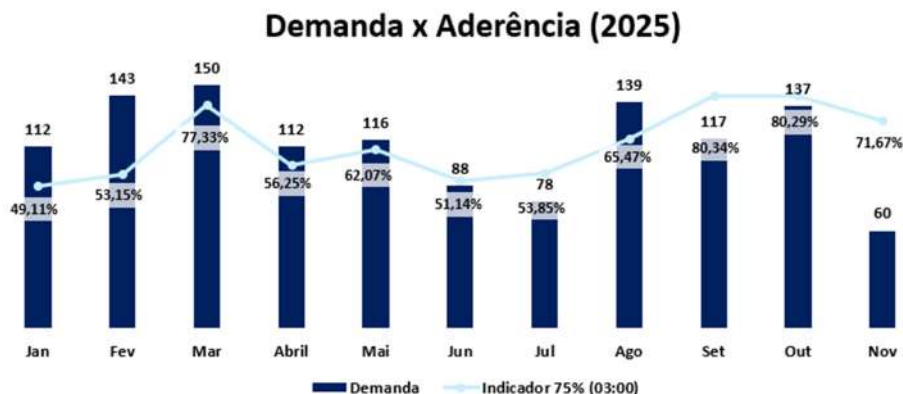


Figura 4 - Comparação mensal da meta de 75% em 2025.

Fonte: Autoria própria (2025).

Observa-se na Figura 10, abordando sobre a evolução mensal do indicador em 2025, que nos primeiros meses os índices permaneceram abaixo do esperado, com janeiro e fevereiro registrando valores inferiores a 54%. As oscilações desses meses estão diretamente relacionadas a picos de demanda e a períodos com frequentes quebras de máquinas, que reduziram a disponibilidade operacional e aumentaram o tempo de carregamento dos caminhões. Nesses momentos, a necessidade de atender simultaneamente múltiplos processos pressionou a capacidade dos recursos internos, impactando negativamente o desempenho.

Nos meses seguintes, mesmo diante de variações de demanda, o indicador apresentou maior estabilidade, com destaque para agosto (65,47%), setembro (80,34%) e outubro (80,29%), quando os resultados superaram de maneira consistente os valores anteriores, evidenciando a efetividade das ações de controle implantadas. Com o objetivo de avaliar o impacto da readequação do layout e da mudança da doca no desempenho operacional, a Figura 11 apresenta a comparação dos tempos de movimentação das empilhadeiras de pequeno porte para a expedição das cargas, considerando os cenários anterior e posterior às melhorias implementadas.

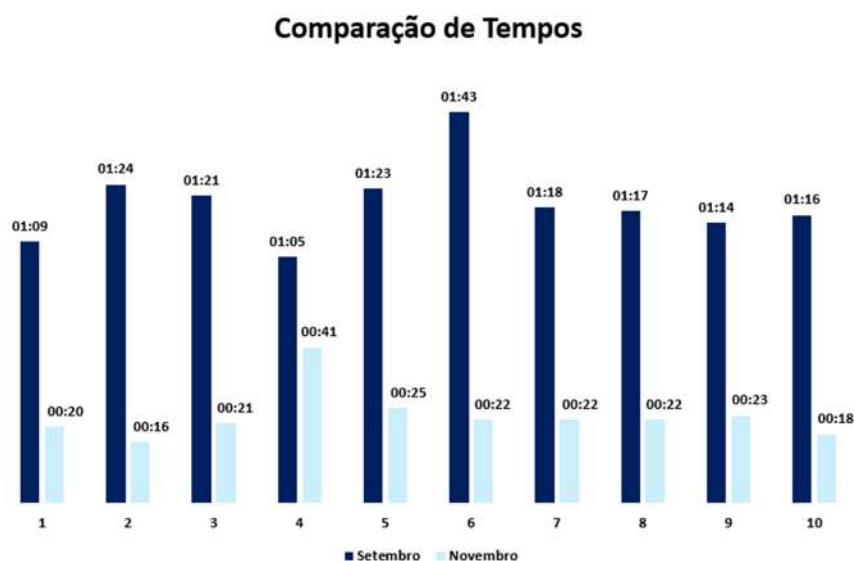


Figura 11- Comparação dos tempos de movimentação das empilhadeiras de piqueno no porto para expedir as cargas na doca.

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 11 apresenta o comparativo entre os tempos de deslocamento das empilhadeiras nos modelos antigo (setembro) e novo (novembro), evidenciando redução da distância percorrida e diminuição no tempo médio de movimentação interna, objetivo principal das melhorias implementadas para atender à meta operacional de 75%. No cenário anterior, os deslocamentos registravam média de 1 minuto e 19 segundos, com variações entre 1:05 e 1:43, refletindo rotas longas, cruzamentos e pontos de congestionamento. Após a readequação do layout e a mudança da doca do Produto A, o tempo médio caiu para 23 segundos, representando uma redução aproximada de 243% por ciclo. Esses resultados demonstram o impacto direto da reorganização física na correção dos fluxos internos, tornando o processo mais ágil, previsível e menos suscetível a interferências e congestionamentos.

Com o objetivo de avaliar os impactos da reorganização do layout e da segmentação do porta-pallet sobre o controle operacional, a Figura 12 apresenta a comparação do tempo necessário para a realização do inventário de cargas perdidas nos cenários anterior e atual.

Cenário Anterior			
Produto	Posições Vistoriadas	Empilhadeira Trilateral	Tempo Aproximado
A	6638	2	24:00:00
B	6638	2	24:00:00
C	6638	2	24:00:00
D	6638	2	24:00:00
Cenário Atual			
Produto	Posições Vistoriadas	Empilhadeira Trilateral	Tempo Aproximado
A	3292	2	11:54:09
B	1070	2	3:52:07
C	1070	2	3:52:07
D	1206	2	4:21:37

Figura 12 - Tempo do inventário de cargas perdidas.

Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com a Figura 12, é demonstrado a redução expressiva no tempo de inventário de cargas perdidas após a reorganização do layout e a segmentação do porta-pallet por processo. No cenário anterior, as 6.638 posições eram compartilhadas entre todos os processos, a localização de itens exigia longas buscas e interrupções no carregamento. No cenário reorganizado, o escopo médio de vistoria passou a considerar apenas as posições específicas de cada processo, reduzindo o tempo médio geral de inventário para aproximadamente 6 horas, valor obtido a partir da média dos tempos individuais de vistoria por produto. A Figura 13 apresenta a evolução mensal das médias do indicador de Movimentações por Hora (MPH) ao longo de 2025.

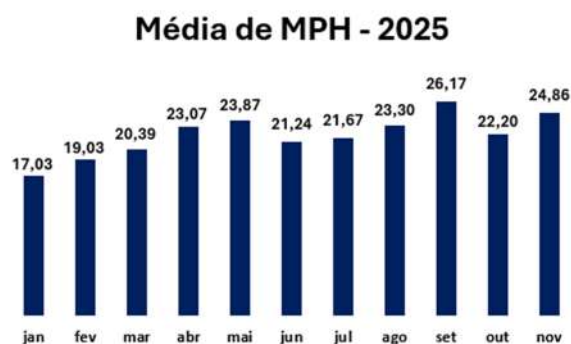


Figura 13 - Médias de 2025 do indicador de MPH.

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 13 apresenta a evolução mensal das médias do indicador de MPH ao longo de 2025, evidenciando uma tendência crescente após a implementação das melhorias estruturais. Observa-se que os meses posteriores ao projeto, principalmente maio, setembro e novembro registram os maiores valores do ano, atingindo números superiores a 23,8 movimentos por hora, o que demonstra a consolidação da performance operacional.

Também, a interpretação desses indicadores está alinhada à literatura, especialmente aos autores que discutem o papel das métricas de desempenho como suporte para decisões baseadas

em dados. Salah (2010) ressalta que melhorias sustentadas necessitam de integração entre organização física, definição objetiva de processos e monitoramento contínuo por meio de indicadores. Esses princípios foram incorporados à etapa Controlar do ciclo DMAIC, em que dashboards operacionais foram implementados para acompanhar tendências, variações e possíveis desvios nos resultados.

A evolução positiva dos indicadores comprova que as ações implantadas não apenas corrigiram falhas estruturais, mas também fortaleceram a previsibilidade, a estabilidade e o nível de serviço da operação. O conjunto de evidências reforça a efetividade da abordagem Lean Six Sigma como suporte para melhoria contínua e posiciona a expedição em um patamar superior de desempenho, servindo como base sólida para as discussões finais e para o encerramento dos resultados.

O avanço observado também é resultado da eliminação de sobreposições entre processos, da implementação de controles visuais e da realização de auditorias frequentes nos endereçamentos. A capacitação dos operadores foi fundamental para consolidar essa rotina, enquanto o 5S desempenhou papel central na melhoria da organização. Em destaque, o princípio de Seiton contribuiu para reduzir buscas improdutivas, enquanto o Seiketsu assegurou a manutenção dos padrões de segregação correta ao longo do tempo.

Esses achados estão alinhados à literatura que demonstra os efeitos positivos da organização física e da padronização visual sobre a eficiência operacional. Estudos como os de Cheng (2024) e Salah (2010) demonstram que a organização física e a padronização visual são determinantes para a execução eficiente de atividades repetitivas, reduzindo falhas humanas e garantindo sustentabilidade dos resultados ao longo do tempo. Assim, a aplicação do 5S no armazém não apenas organizou o espaço físico, mas também consolidou uma cultura de disciplina.

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo foi otimizar o processo de carregamento de caminhões por meio da aplicação estruturada do método DMAIC e da reorganização física do armazém. A metodologia adotada permitiu identificar problemas operacionais, mapear fluxos ineficientes e propor intervenções direcionadas à redução de desperdícios, ao aumento de produtividade e à previsibilidade das atividades da expedição. A combinação entre segregação das cargas, reorganização do porta-pallet, padronização visual e readequação da doca demonstrou ser adequada às características do processo analisado, proporcionando uma compreensão sistêmica

das causas e efeitos relacionados ao tempo de carregamento.

Os resultados obtidos evidenciam o impacto direto das melhorias na operação: redução aproximada de 243% no tempo médio de deslocamento das empilhadeiras (de 1min19s para 23s), aumento do indicador de MPH de 18,81 para 23,30 e avanço da aderência à meta de carregamento, de 53,96% para 63,57%. Esses ganhos confirmam a efetividade das intervenções estruturais no layout e na organização do estoque para empresas com alta rotatividade logística.

Como limitações, para a execução do trabalho pode-se citar a ausência de simulações avançadas, dependência de dados operacionais disponíveis e impossibilidade de intervir em fatores externos ao escopo, como quadro de mão de obra inferior ao necessário, máquinas quebradas ou restrições de demanda. Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de softwares de simulação discreta para aprofundar a análise dos fluxos internos. Ainda assim, as evidências geradas contribuem para práticas profissionais do setor, oferecendo referenciais replicáveis em outros armazéns com características semelhantes e subsidiando futuras decisões gerenciais.

REFERÊNCIAS

Baker, P., & Canessa, M. (2009). Projeto de armazém: uma abordagem estruturada. *European journal of operational research* , 193 (2), 425-436.

Ballou, R. H. (2009). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial*. Bookman editora.

Belchior, M. C. (2018). A Aplicação Das Metodologias Lean Seis Sigma: Uma Analise Comparativa De Estudos De Casos Publicados Em Periodicos. *Revista GeTeC*, 7(15).

Benítez-lópez, G. (2021). Optimization and improvement of the goods loading process in the transportation units. *Journal of Business Development Strategies*, 7(20).

Cheng, G., Luo, F., & Lan, J. (2024). Avaliação Da Eficiência Da Inovação Da Gestão Da Cadeia De Suprimentos Em Empresas De Varejo Chinesas Listadas Com Base No Modelo Dea. *Transformações em Negócios e Economia* , 23 .

Chramcov, B., & Jemelka, M. (2017). Optimization of the logistics process in warehouse of automotive company based on simulation study. In *16th International Conference on Modeling and Applied Simulation, MAS 2017, Held at the International Multidisciplinary Modeling and Simulation Multiconference, I3M 2017. 16th International Conference on Modeling and Applied Simulation, MAS 2017*.

De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, KJ (2007). Projeto e controle de separação de pedidos em armazém: uma revisão da literatura. *European journal of operational research* , 182 (2), 481-501.

Ekren, BY, Heragu, SS, Krishnamurthy, A., & Malmborg, CJ (2010). Projeto experimental baseado em

simulação para identificar fatores que afetam o desempenho de AVS/RS. *Computers & Industrial Engineering* , 58 (1), 175-185.

Frazelle, E. H. (2016). *World-Class Warehousing and Material Handling 2E* (PB). McGraw Hill Professional.

Gajda, M., Trivella, A., Mansini, R., & Pisinger, D. (2022). An optimization approach for a complex real-life container loading problem. *Omega*, 107, 102559.

Ganske, A. R. (2019). Redução do tempo de carregamento de caminhões com base no Lean Manufacturing: um estudo de caso de uma siderúrgica do segmento de aços planos.

George, M. L., & George, M. (2003). *Lean six sigma for service* (p. 273). New York, NY: McGraw-Hill.

Gijo, E. V., Scaria, J., & Antony, J. (2011). Application of Six Sigma methodology to reduce defects of a grinding process. *Quality and reliability engineering international*, 27(8), 1221-1234.

Gong, Y., & De Koster, RB (2011). Uma revisão sobre modelos estocásticos e análise de operações de armazém. *Pesquisa em Logística* , 3 (4), 191-205.

Osório, T. P., & Barcelos, B. F. (2019). *GESTÃO DE ESTOQUE UTILIZANDO A CURVA ABC*.

Petersen, C. G., Siu, C., & Heiser, D. R. (2005). Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(10), 997-1012.

Richards, G. (2017). *Gestão de armazéns: um guia completo para melhorar a eficiência e minimizar os custos no armazém moderno* . Kogan Page Publishers.

Roodbergen, KJ, & Vis, IF (2009). Uma revisão da literatura sobre sistemas automatizados de armazenamento e recuperação. *European journal of operational research* , 194 (2), 343-362.

Salah, S., Rahim, A., & Carretero, J. A. (2010). The integration of Six Sigma and lean management. *International journal of lean Six Sigma*, 1(3), 249-274.

Silva, F. A. F. D. (2023). *Práticas de gestão de estoques em micro e pequenas empresas brasileiras: uma revisão da literatura*.

Tashakkori, A., & Creswell, JW (2007). A nova era dos métodos mistos. *Journal of mixed methods research* , 1 (1), 3-7.

Tompkins, JA, White, JA, Bozer, YA, & Tanchoco, JMA (2010). *Planejamento de instalações* . John Wiley & Sons.

Vitor Filho, M. D. C. (2023). *Otimização do sequenciamento de operações de carga e descarga de caminhões apoiada por algoritmo genético em programação evolutiva* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Yadav, A. S., Swami, A., Gupta, C. B., & Garg, A. (2017). Analysis of electronic component inventory optimization in six stages supply chain management for warehouse with ABC using genetic algorithm and PSO. *Selforganizology*, 4(4), 52-64.

PROPOSTA SOBRE SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES: MELHORIA ALTERNATIVA EM MODELAGEM NA CONSTRUÇÃO DE SISTEMA PARA TRANSPORTE EM MOEGAS EM UM MEGAPROJETO

Vinicius Henrique Moreira do Rosário (viniciushmr@hotmail.com)

Valderice Herth Junkes (valderice.junkes@unespar.edu.br)

Resumo: A execução de megaprojetos pode apresentar desafios recorrentes em atrasos, paralisações e custos elevados, frequentemente associados à ausência de padronização e ao uso de métodos empíricos de sequenciamento. Nesse contexto, este levantamento objetivou a padronização do processo de montagem em um megaprojeto, para a redução do prazo de execução e dos custos operacionais, integrando a Rede PERT e princípios da metodologia ágil aplicada à construção civil. Identificou-se que o processo de montagem era conduzido de forma empírica, resultando em frequentes paralisações e ociosidades, com base em dados coletados, as atividades foram classificadas e organizadas em Redes PERT específicas. O principal recurso do estudo consistiu na adoção de um modelo de montagem ágil, com alternância das frentes de trabalho entre os dois pavimentos da estrutura, garantindo a continuidade diante de entraves logísticos, como a indisponibilidade de materiais. Os resultados demonstraram que a aplicação do modelo proposto possibilitou a redução do prazo de 25 para 15 dias, representando uma diminuição aproximada de 40% no período. De forma, observou-se também uma redução proporcional dos custos, evidenciando que os ganhos obtidos não decorreram do aumento de recursos, mas da mitigação da ociosidade e da reorganização do sequenciamento das atividades. Conclui-se que a formalização do processo por meio da Rede PERT, mesmo sendo um método clássico, mostrou-se plenamente aplicável e eficaz quando associada a princípios de flexibilidade operacional, reforçando sua relevância para a gestão de megaprojetos complexos.

Palavras-chave: Efetivo; Custos; Prazos; Montagem; Rede PERT.

PROPOSAL ON ACTIVITY SEQUENCING: AN ALTERNATIVE IMPROVEMENT IN MODELING FOR THE CONSTRUCTION OF A TRANSPORT SYSTEM IN HOPPERS IN A MEGAPROJECT

Abstract: The execution of megaprojects can present recurring challenges in delays, stoppages, and high costs, often associated with a lack of standardization and the use of empirical sequencing methods. In this context, this survey aimed to standardize the assembly process in a megaproject to reduce execution time and operational costs, integrating the PERT network and principles of agile methodology applied to civil construction. It was identified that the assembly process was conducted empirically, resulting in frequent stoppages and idle time. Based on collected data, the activities were classified and organized into specific PERT networks. The main resource of the study consisted of adopting an agile assembly model, alternating work fronts between the two floors of the structure, ensuring continuity in the face of logistical obstacles, such as the unavailability of materials. The results demonstrated that the application of the proposed model made it possible to reduce the timeframe from 25 to 15 days, representing an approximate decrease of 40% in the period. Furthermore, a proportional reduction in costs was also observed, demonstrating that the gains obtained did not result from increased resources, but from mitigating idle time and reorganizing the sequencing of activities. It is concluded that the formalization of the process through the PERT Network, even though it is a classic method, proved to be fully applicable and effective when associated with principles of operational flexibility, reinforcing its relevance for the management of complex megaprojects.

Keywords: Effective; Costs; Deadlines; Assembly; PERT Network.

1. INTRODUÇÃO

O setor portuário possui papel crucial no fluxo da produção, atuando como infraestrutura crítica na cadeia logística nacional; segundo a Tecnológica (2025), o setor portuário brasileiro receberá mais de R\$19,7 bilhões em investimentos em 2025, refletindo sua crescente importância estratégica. Projetos voltados à expansão da capacidade operacional dos portos apresentam desafios significativos em planejamento, execução e gestão de recursos. Essas obras, categorizadas como megaprojetos, são marcadas por sua alta complexidade, longos períodos de desenvolvimento, custos consideráveis e grande participação de partes interessadas

(Flyvbjerg, 2014). Contudo, historicamente, tais empreendimentos enfrentam problemas orçamentários recorrentes e de atrasos, resultantes da subestimação de riscos e falhas na governança (Poole, 2011; Cantarelli et al., 2013).

O presente estudo ocorreu dentro de uma obra de construção metálica, tal obra apesar de possuir uma empresa de grande porte para efetuar as atividades de montagem não possuía uma padronização deste de forma coesa e sistemática à ser seguida, neste contexto, propõem-se a aplicação dos conhecimentos da Engenharia de Produção para compreender os parâmetros da obra e fornecer uma estruturação de uma sequência de atividades padronizada capaz de ser seguida pelo efetivo da empresa, com ênfase principal na redução do prazo de entrega de um módulo metálico; e desta forma busca-se a construção de uma rede de atividades modelada pelo método Program Evaluation and Review Technique (PERT) complementada por modelo de construção da metodologia ágil em construções civis que contribui para facilitar as tomadas de decisões quanto a mitigar paralisações e ociosidade do processo original.

O objetivo geral deste estudo é a padronização do processo de montagem de um empreendimento real por meio de uma Rede PERT, sobre montagem de módulo, cuja execução original implicava em restrições operacionais relevantes, como: execução simultânea de múltiplos módulos e de componentes críticos que intensificam os problemas de paralisações e ociosidade operacional. Em razão da interdependência entre atividades e necessidade de trabalho interfuncional, os megaprojetos requerem desta forma níveis significativamente mais elevados de coordenação e colaboração interfuncional (Ma, 2025). Dito isto, é evidenciado como a montagem deve aproveitar o tempo e a sequência precisa seguir conforme frentes de trabalho disponíveis alternando entre o tipo de montagem no primeiro e segundo andar.

Aplicou-se a metodologia ágil em construção civil como modelo de montagem que o desenvolvimento da Rede PERT deveria abordar, efetuando uma montagem mais agilizada, uma abordagem alternativa à montagem tradicional, a proposta visa manter o progresso físico da obra mesmo diante de eventualidades do fornecimento de material, permitindo a continuidade construtiva por meio de frentes de trabalho viáveis nas extremidades da estrutura.

O modelo proposto busca um avanço da montagem lateralmente até alcançar o topo da estrutura, otimizando o fluxo produtivo e diminuindo o tempo de paralisação e reduzindo ociosidade. Esta prática permite um avanço contínuo na montagem, permanências das frentes de trabalho no módulo, e permite que os fatores de entraves e incertezas sejam sanados ainda dentro do período de entrega do material pendente esperado. Observam Collyer e Warren

(2009) que as incertezas em megaprojetos resultam da dificuldade em prever riscos e implementar medidas corretivas de maneira oportuna.

Buscou-se desenvolver uma sequência padronizada de atividades no empreendimento por meio de uso da prática de Rede PERT para visualização tanto dos gestores quanto dos líderes de frente, os montadores. A principal contribuição reside no desenvolvimento de Redes PERT com colaboração do conceito do modelo de montagem agilizada advindos da metodologia ágil para a montagem de módulos metálicos, elaborada a partir de dados reais de campo e adaptada às características operacionais do projeto analisado reforçando a literatura acadêmica da usabilidade pertinente de um método clássico como Rede PERT mesmo em obras inovadoras. Ao integrar práticas consolidadas na área da ABEPRO de “Engenharia de Operações e Processos”, o estudo contribui tanto para o avanço metodológico da área quanto para a aplicação prática em empreendimentos de complexidade e natureza semelhantes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, apresenta-se o referencial teórico, destinado à abordagem dos três temas principais para melhor compreensão e validação do estudo; sendo eles, respectivamente, então: *(i)* metodologias ágeis na construção civil, *(ii)* sequenciamento de atividades para Rede PERT e *(iii)* gerenciamento de custos.

2.1 METODOLOGIAS ÁGEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil tem sido tradicionalmente conduzida por métodos de gestão e execução estruturalmente rígidos, o que impõe desafios relacionados ao aumento da eficiência, à redução de custos e à melhoria da qualidade dos projetos (Rodolpho e Junior, 2025). Trata-se de um setor caracterizado, principalmente, por elevados volumes de investimento e pela significativa participação de diversas partes interessadas, o que demanda maior atenção dos gestores quanto à condução das obras. Este panorama tende a restringir a flexibilidade dos gestores e a limitar o interesse na adoção de métodos alternativos, favorecendo a utilização de abordagens tradicionais, como a montagem linear, que, embora proporcione maior sensação de segurança, torna o processo mais rígido e suscetível a paralisações e à geração de ociosidades.

Neste contexto como resposta às limitações impostas pela rigidez dos modelos tradicionais de gestão de obras, algumas empresas do setor da construção civil têm buscado a aplicação de métodos ágeis para aumentar a flexibilidade, a eficiência operacional e a capacidade de adaptação às mudanças ao longo do ciclo do projeto. Segundo Vale & Alves

(2022), metodologias tradicionais, como a gestão baseada em sequenciamento rígido, tendem a incentivar uma tomada de decisão mais lenta e menos responsiva, enquanto abordagens ágeis oferecem a flexibilidade para lidar com alterações e desafios imprevistos durante a execução dos trabalhos. De acordo com Silva e Almeida (2019), a adoção dessas metodologias tem apresentado resultados positivos em diferentes tipos de empreendimentos, como são os casos:

- Prédio 24 de Maio do SESC em São Paulo: A construção deste edifício utilizou metodologias ágeis para melhorar a comunicação e a transparência entre os membros da equipe. Isso possibilitou uma resposta rápida às mudanças solicitadas, garantindo que o projeto fosse entregue no prazo e dentro do orçamento.
- Reforma de Rodovia em Minas Gerais: Neste projeto, a metodologia ágil foi aplicada para coordenar diversas partes interessadas. A equipe agrupou as tarefas em partes menores, resultando na conclusão antecipada do projeto.

As metodologias ágeis apresentam diferentes abordagens conforme a finalidade de sua aplicação, sendo organizadas em diversas categorias que podem ser adotadas de acordo com o nível de complexidade do projeto, tais como Scrum, Lean Construction e Kanban. No Brasil, a adoção dessas metodologias tem mostrado resultados promissores, um exemplo disto é a aplicação do Lean Construction, que adapta os princípios do Lean Manufacturing para o setor de construção, focando na eliminação de desperdícios e na maximização do valor (KOSKELA, 2018). Entretanto, este estudo por se tratar de um megaprojeto, as partes interessadas demonstraram-se inflexíveis quanto a adoção dessas metodologias, permitindo apenas a incorporação de princípios relacionados à agilidade da adaptabilidade dos processos.

Dessa forma, o principal aspecto da metodologia ágil efetivamente aplicado foi a capacidade de adaptação do processo frente a limitações logísticas que geram ociosidades e atrasos. Esse princípio está alinhado ao conceito de transição entre frentes de trabalho, no qual, ao se identificar um impedimento, como a indisponibilidade de materiais para determinada atividade, busca-se encontrar frentes alternativas e realocar o efetivo de modo a manter a continuidade da montagem. Tal estratégia possibilita que a produção prossiga enquanto o fornecedor regulariza o fornecimento do material faltante, mitigando impactos no cronograma.

Seguindo esta lógica, Rodolpho e Junior (2025), em seu estudo destacaram que a aplicação de princípios da metodologia ágil, com foco na continuidade progressiva das atividades, proporcionou maior visibilidade e controle sobre o andamento do projeto. Essa abordagem favoreceu a identificação precoce de problemas e a tomada de decisões mais rápidas, fatores essenciais para a manutenção do planejamento. Além disso, a integração das

equipes e o fluxo contínuo de trabalho foram aprimorados, resultando na conclusão de blocos inteiros dentro dos prazos estabelecidos e na minimização de desperdícios de tempo e materiais, efeitos decorrentes de uma estratégia qualificada de sequenciamento de atividades, com flexibilidade de progressão diante da ocorrência de entraves.

2.2. SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES PARA REDE PERT

Quando as atividades são organizadas com estratégia, reduz-se o tempo ocioso dos recursos e aumenta-se a produtividade, o que impacta diretamente na redução do tempo total do projeto (Slack, Brandon-Jones & Burgess, 2021). Para Maximiano (2002), o sequenciamento das atividades define a ordem das tarefas e suas dependências, permitindo o estabelecimento de prioridades e a representação das relações entre elas em diagramas de precedência. Portanto, o sequenciamento está associado à produtividade por definir o ritmo e a fluidez do avanço físico da obra, podendo ser descentralizado de forma estratégica diante de atrasos logísticos.

Uma forma coesa de se expressar visualmente um sequenciamento de atividades é por meio do método de Rede PERT, que emprega uma representação visual por meio de uma rede de desenvolvimento das atividades dentro do período baseada em uma tabela que apresenta os dados de precedência e os tempos em três cenários possíveis.

O método da Rede PERT é utilizado no gerenciamento de projetos ao planejar e controlar atividades; é formada por uma rede de atividades interdependentes, representadas por nós conectados à setas que indicam sua sequência (Meredith & Mantel, 2017). Apesar da sua eficácia, o sequenciamento enfrenta desafios diante de entraves logísticos, como escassez de materiais ou limitações do efetivo. Ele é aplicável dentro deste estudo pois permite definir uma estratégia direta de progressão da montagem do módulo metálico e encontrar uma definição antecipável do período de execução de cada módulo ao padronizar o seu desenvolvimento.

Como qualquer atraso pode afetar o prazo e a entrega do projeto, o sequenciamento deve ser flexível pela eficiência do fluxo produtivo, além de melhorar o atendimento ao cliente por garantir entregas dentro do prazo, o sequenciamento adequado minimiza desperdícios e tempo ocioso, favorecendo melhor alocação de recursos humanos e materiais (Zen; Chiminelli, 2022). Essa melhor alocação de recursos permite um melhor gerenciamento de custos por parte da empresa que consegue então identificar o quanto cada etapa impacta os custos financeiros.

2.3. GERENCIAMENTO DE CUSTOS

Dutra (2009) cita a Contabilidade de Custos surgiu a partir da Revolução Industrial com o objetivo de registrar os custos de modo a facilitar a avaliação dos inventários pelos administradores e em consequência, determina com mais precisão os custos do período. O tema de gerenciamento de custos é pertinente ao sequenciar atividades, pois o intuito da redução do intervalo de entrega dos módulos metálicos e justamente identificar quais são os gastos que a empresa possui e ao realizar-se uma Rede PERT é possível identificar os custos por cada atividade. Ao utilizar o método de montagem ágil, advindo das metodologias ágeis, o principal fator a ser mitigado é o de ociosidade, e seu custo indireto crítico; pois mesmo sem haver montagem o tempo desperdiçado é pago tanto por conta do efetivo quanto ao aluguel da PEMT.

O gerenciamento de custos possui um papel essencial na manutenção da produtividade dentro dos projetos; quando implementado com uma base em planejamento estruturado pode proporcionar equilíbrio entre os recursos financeiros disponíveis e as necessidades operacionais. Kerzner (2025) ressalta que a eficiência produtiva é favorecida por uma gestão financeira sólida e bem estruturada. Definir a descrição dos custos, encontrar uma forma de controle de gastos com o aluguel de equipamentos e sobre o impacto do tempo ajuda à elaborar um planejamento para evitar desperdícios e uso inadequado de recursos; a previsão correta da demanda e o tempo de utilização dos itens locados impactam diretamente no orçamento.

Para Silva (2015), os custos do projeto em relação ao tempo vão decaindo até chegarem ao valor mínimo de custo, onde a alocação de todos os recursos é realizada de forma adequada às necessidades do projeto. Os custos relacionados à mão de obra exigem atenção constante, especialmente em projetos com alta demanda de pessoal especializado. Conforme o Project Management Institute (2021) a gestão eficaz desses custos reduz riscos e contribui para a sustentabilidade financeira do projeto; um fator crítico para o desequilíbrio orçamentário é o tempo ocioso de trabalhadores, máquinas e equipamentos; a ausência de sincronização entre etapas pode gerar gastos indiretos que afetam os resultados finais.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este trabalho é caracterizado como estudo de caso de análise mista ao combinar os aspectos qualitativos e quantitativos, conforme os autores Venkatesh, Brown e Bala (2013). Nesta respectiva seção apresenta-se o processo metodológico que foi dividida em cinco fases: (i) coleta, análise e uso dos dados das atividades; (ii) identificação da padronização do processo original, (iii) alteração do método de montagem, (iv) elaboração de uma Rede PERT para padronização e (v) gerenciamento de custos.

Para confidencialidade corporativa, serão suprimidas todas as informações que possam permitir a identificação direta da empresa ou do local de estudo, restringindo-se a divulgação apenas aos dados necessários para fins de coleta e utilização. Apenas ressaltando informações neutras, como: a empresa atua no setor da construção civil de montagem metálicas; o presente megaprojeto é um empreendimento conjunto do Estado com o setor privado e é sobre uma construção metálica por toda extensão de uma região portuária pública; a tecnologia da estrutura montada é inédita em todo o território do continente americano, sendo este estudo a elaboração do primeiro processo sobre padronizar a montagem da estrutura desta nova tecnologia.

3.1 COLETA, ANÁLISE E USO DOS DADOS DAS ATIVIDADES

A coleta de dados compreendeu a etapa de levantamento e sistematização das informações que fundamentam o presente estudo, incluindo a definição dos critérios de classificação das atividades, a determinação de seus tempos de execução e o estabelecimento de uma codificação padronizada para análise. As atividades analisadas são de caráter recorrente e repetitivo, uma vez que a obra é composta por cinquenta e cinco módulos padronizados de estrutura metálica de dois pavimentos, com alturas e larguras semelhantes.

O período de coleta de dados foi de oito meses, de fevereiro a outubro de 2025. Durante esse intervalo, foram registrados diariamente, por meio de diários de obra, os dados relativos ao efetivo empregado e à identificação das atividades executadas. Essas informações foram posteriormente mensuradas e analisadas na etapa de quantificação da duração das atividades, com o objetivo de determinar intervalos padrão de execução e, a partir deles, propor um modelo e uma rede de montagem. Os dados coletados foram conferidos e validados em nível tático por dois técnicos de segurança, dois encarregados e um supervisor de obra, utilizando-se como métodos de validação a revisão técnica e reuniões de alinhamento.

Dessa forma, as atividades do processo de montagem, que devem ser organizadas à permitir sua execução no menor prazo possível, foram sistematizadas e apresentadas na Tabela 1. Essas informações foram obtidas por meio de conferências diárias nas frentes de serviço, e a nomenclatura adotada foi definida a partir dos desenhos técnicos do projeto. Nesse contexto, “Inf.” é a abreviação de “inferior” representando o primeiro andar, e “Sup.” é de “superior” sendo o segundo andar; “Long.” é a abreviação de “longitudinal” sendo essas as peças na horizontal no desenho técnico e “Transv.” é de “transversal” sendo as peças em sentido vertical.

Tabela 1: Atividades para montar um módulo.

Atividades		
Contraventos Inf.	Vigas Long. Baixas	Terças da Cobertura
Trilhos Inf.	Vigas Transv. Inf.	Telhas Laterais Inf.
Chapas Dobradas Inf.	Topografia	Telas Laterais
Grade de Piso Inf.	Colunas de Quina	Telhas Laterais Sup.
Torqueamento Inf.	Colunas Inferiores	Pórticos
Contraventos Sup.	Vigas Long. Altas	Torqueamento Sup.
Contraventos Centrais Sup.	Vigas Transv. Sup.	Tirantes
Trilhos Sup.	Mão-Francesas	Grade de Piso Sup.
Chapas Dobradas Sup.	Vigas Long. Sup.	

Fonte: Autor (2025).

Após a definição de atividades, procedeu-se à coleta dos tempos de execução tanto em campo quanto em registros documentais e arquivos. Os dados de campo foram obtidos a partir do parecer dos encarregados e do supervisor de obra, aliados à observação direta das frentes de serviço e à cronometragem dos tempos de montagem de cada atividade. Paralelamente, os dados provenientes de arquivos foram extraídos do Registro Diário de Obra (RDO), sistema no qual todos os engenheiros envolvidos registram diariamente as informações relevantes do empreendimento. Esses registros incluem a identificação das atividades executadas, o efetivo empregado, os tipos de peças montadas e os módulos correspondentes às frentes de trabalho, sendo todos os lançamentos validados por meio de registros fotográficos com indicação de data e hora. Além disso, o sistema contempla o cadastro de eventos relevantes, tais como a data de abertura de cada módulo, períodos de paralisação e as datas de entrega da estrutura concluída.

A partir da análise dos registros por equipe, os quais variavam conforme a repetição das atividades em diferentes módulos, identificou-se a quantidade de trabalhadores efetivamente necessária para execução de cada atividade. Adicionalmente, a identificação dos tipos de peças permitiu a categorização das equipes de acordo com os processos construtivos envolvidos.

Essa etapa constituiu a fase mais extensa do estudo, com duração aproximada de três meses, período no qual foram realizados debates e reuniões de alinhamento com os encarregados. O objetivo dessas discussões foi compreender, sob uma perspectiva teórica e prática, a viabilidade da formação de equipes especializadas, com agrupamentos fixos de atividades, visando promover maior familiaridade com os processos, acelerar a curva de aprendizagem e possibilitar a execução das atividades em tempos padronizados, reduzindo incertezas e contribuindo para o atendimento dos prazos estabelecidos.

Com base no agrupamento das atividades segundo o tipo de peça e sua finalidade,

estabeleceu-se a divisão do efetivo em três equipes especializadas:

- **Equipe Estrutura:** que montaria o esqueleto do módulo e as peças mais pesadas, como grandes vigas e travamentos que formam a base de todo módulo.
- **Equipe Complemento:** que montaria as conexões do módulo e sua usabilidade, como os contraventos e a passarela de piso por onde haverá a transito de pessoas.
- **Equipe Fechamento:** que montaria as telhas de cobertura do módulo e as telas de proteção, sendo estes os acabamentos com objetivo de proteção do módulo e do pessoal que virá à transitar pelos módulos após sua entrega.

O agrupamento das atividades e a definição de equipes especializadas possibilitaram o desenvolvimento de uma estruturação de Rede PERT, fundamentada em princípios da metodologia ágil de montagem, com o objetivo de otimizar o aproveitamento das frentes de serviço por meio da transição coordenada entre os dois pavimentos da obra.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO ORIGINAL

O processo original de montagem não possui documentação formal e ocorria sem uma padronização devidamente estabelecida e compartilhada com os líderes das equipes. Dessa forma, a execução das atividades baseava-se predominantemente no conhecimento empírico e na experiência prévia do supervisor de obra, caracterizando um modelo de gestão informal e suscetível a variações de desempenho ao longo do empreendimento. Embora esse mapeamento empírico tenha se mostrado funcional, ele foi identificado como passível de otimização a partir de reuniões de alinhamento realizadas com o próprio supervisor, que manifestou interesse em estruturar e padronizar as atividades com o objetivo de reduzir incertezas e atrasos.

Apesar da experiência do supervisor, a obra apresentava períodos recorrentes de ociosidade, associados principalmente à ausência de procedimentos executivos padronizados e de uma sequência claramente definida das atividades. Tal cenário demonstrava a necessidade da criação de uma Rede PERT, ferramenta capaz de representar de forma organizada a lógica de precedência entre as atividades, direcionar os esforços produtivos e possibilitar estimativas mais consistentes de prazos, contribuindo para uma gestão mais eficiente do empreendimento.

Assim, para a definição do método de elaboração para Rede PERT, foi proposta e debatida a incorporação de princípios da metodologia ágil aplicados à construção civil, por sua capacidade de manter a continuidade do processo mesmo diante de entraves operacionais. Essa abordagem mostrou-se adequada ao contexto, por permitir maior flexibilidade na transição entre frentes de trabalho e reduzir os impactos de fatores que potencializam a ociosidade.

3.3 ALTERAÇÃO DO MÉTODO DE MONTAGEM

Nesta etapa do estudo, tornou-se necessário apresentar de forma visual à empresa o modo como o processo de montagem ocorria originalmente, bem como as principais causas de paralisações identificadas. A partir dessa análise, foi possível introduzir e discutir a aplicação de uma metodologia ágil voltada ao desenvolvimento de um processo mais dinâmico, oportuno e capaz de manter a continuidade operacional da obra. Esse novo arranjo produtivo passou a ser denominado, no contexto do empreendimento, como Montagem Ágil. Assim, este método foi demonstrado para o supervisor e os encarregados, demonstrando sua capacidade de permitir o avanço simultâneo em múltiplas frentes de trabalho, mesmo diante de entraves operacionais.

Essa característica mostra-se particularmente vantajosa para a estruturação de uma Rede PERT com foco na redução da duração total do projeto. Para fins de comparação e melhor compreensão do conceito, a Figura 1-A ilustra o modelo linear de originalmente adotado na obra, enquanto a Figura 1-B representa a proposta de Montagem Ágil.

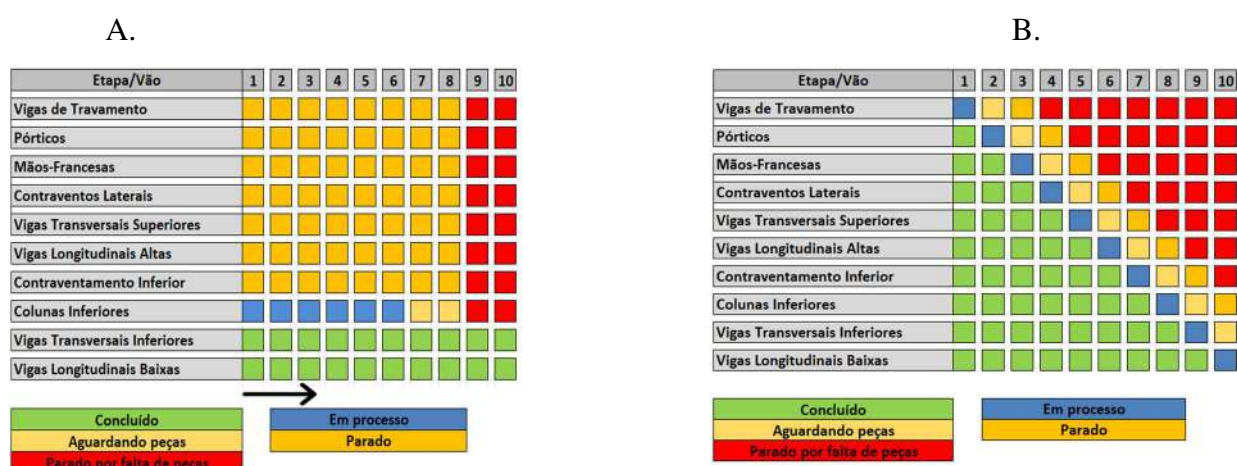


Figura 1: Montagem Linear & Montagem Ágil.

Fonte: Autor (2025).

O modelo linear apresentava limitações significativas, gerando períodos de ociosidade. Sua execução ocorria predominantemente da esquerda para a direita, com a conclusão de um pavimento por vez e a montagem de peças do mesmo tipo em sequência. Ao se deparar com a falta de componentes, a montagem do módulo era interrompida, ainda que existissem condições técnicas para o avanço vertical em vãos onde os materiais estavam disponíveis.

Assim, diante dessas limitações, o estudo testou a viabilidade da aplicação de princípios ágeis por meio de um método de montagem em formato agilizado, cujo objetivo foi garantir a

continuidade das atividades sempre que houvesse frentes de trabalho disponíveis. Conforme demonstrado na Figura 1-B, mesmo mantendo inicialmente o avanço horizontal da montagem, a ocorrência de paralisações por falta de peças não impede a continuidade vertical da estrutura, possibilitando o deslocamento das equipes para outros vãos ou pavimentos aptos à execução. Essa abordagem contribuiu diretamente para redução de atrasos e da ociosidade da mão de obra.

Adotar essa alteração no método de montagem permitiu que a Rede PERT fosse desenvolvida visando atividades em ambos os andares conforme melhor aproveitamento do tempo; ainda restrita a precisar que algumas etapas ocorram antecipadamente, as precedências, para garantir viabilidade de montagem; mas desta forma a Rede PERT pode aproveitar as frentes de trabalho conforme decisões hábeis para evitar ociosidade e manter sua continuidade.

3.4 ELABORAÇÃO DE REDE PERT PARA PADRONIZAÇÃO

Com base nas atividades identificadas na Tabela 1, foi possível compreender todas as etapas necessárias para a montagem completa do módulo, desde o início até sua finalização. Nesse contexto, tornou-se fundamental o correto sequenciamento dessas atividades, de modo a estabelecer a padronização do processo construtivo. Para isso, optou-se pelo uso da Rede PERT que possibilitou a representação visual do fluxo de execução do projeto, sendo amplamente empregada na gestão de projetos e na Engenharia de Operações e Processos. Associada a uma abordagem alinhada aos princípios da metodologia ágil, essa ferramenta permitiu estruturar um processo padronizado, com maior previsibilidade e mitigação de períodos de ociosidade.

A elaboração da Rede PERT baseou-se na identificação e nomeação das atividades, tradicionalmente representadas por setas, enquanto os nós corresponderam aos eventos ou marcos temporais do processo. As durações das atividades foram expressas em unidades de tempo, adotando-se, neste estudo, a métrica de horas por dia. Contudo, em razão das particularidades da Montagem Ágil, que pressupôs a alternância entre atividades executadas no primeiro e no segundo pavimento, optou-se por uma adaptação do método convencional, mediante a utilização de uma codificação alfanumérica.

Nessa codificação, a letra indicou o pavimento qual a atividade foi executada e o número representou sua posição na sequência de execução naquele pavimento. Essa lógica foi aplicada às três equipes definidas, sendo: B e D correspondentes às atividades da Equipe Estrutura no primeiro e no segundo pavimento; C e E às atividades da Equipe Complemento no primeiro e no segundo pavimento; e F às atividades da Equipe Fechamento, executadas

independentemente do pavimento. As atividades com o símbolo de exclamação (“!”) indicaram aquelas que demandaram o uso da Plataforma Elevatória Móvel de Trabalho (PEMT) alugada.

Portanto, a Rede PERT fundamenta-se na análise de três cenários de duração das atividades: otimista, mais provável e pessimista. Neste estudo, adotou-se o método da triplicata, no qual o menor tempo registrado para cada atividade correspondeu ao cenário otimista, o maior tempo ao cenário pessimista, e a média aritmética dos valores ao cenário mais provável.

A partir dos dados coletados e organizados, foi elaborada uma Rede PERT específica para cada categoria de equipe, destacando suas respectivas atividades e relações de precedência. As atividades previamente identificadas na Tabela 1 foram agrupadas e organizadas na Rede PERT, conforme exemplificado na Figura 2.

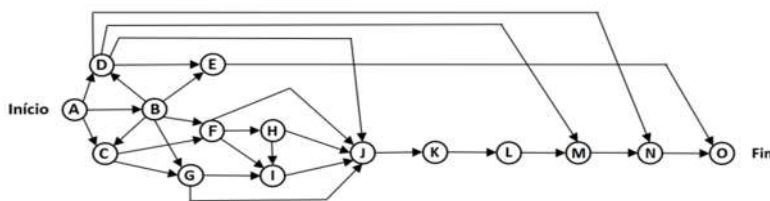


Figura 2: Exemplo de uma Rede PERT.

Fonte: Zen e Chiminelli (2022).

Para viabilizar a construção e o acompanhamento da Rede PERT, foi necessária a elaboração de uma tabela de precedência, na qual foram explicitadas as relações de dependência entre as atividades, bem como os valores correspondentes aos cenários otimista, mais provável e pessimista. A Tabela 2 apresentou um exemplo dessa estruturação.

Tabela 2: Exemplo de precedências das atividades.

Dia	Atividade	Dependência	Est.	Est.	Est.
			Otimista	Mais Provável	Pessimista
1º	B1	-	4	4,5	5
1º	B2	-	1,5	1,83	2
1º	B3	B1	1	1,83	2,5
1º	B4	B2	0,5	0,75	1

Fonte: Autor (2025).

Para conseguir acompanhar e montar a Rede PERT foi necessário estabelecer uma “tabela de precedência” que destaque quais atividades são interligadas e quais os valores dos cenários. Acima um exemplo conforme Tabela 2.

3.5 GERENCIAMENTO DE CUSTOS

Para o gerenciamento de custos, utilizou-se o software Microsoft Excel, no qual foi elaborada uma planilha específica (Figura 3) que possibilitou a determinação dos custos associados a cada atividade. O cálculo considerou: (i) o tempo demandado para execução; (ii) a quantidade de pessoas envolvidas; (iii) o custo hora-homem; e (iv) o custo individual das atividades. As informações necessárias para a definição dos custos foram obtidas a partir dos registros de folha de ponto e dos holerites de pagamento. A validação das médias salariais foi realizada junto ao setor de Recursos Humanos, com base nas planilhas oficiais disponíveis no escritório da empresa.

Dia	Atv:	Classe:	Horas / Dia		N° Envolvidos:	Função	Ef.	R\$		Aluguel	Custo Total:
			Tempo de Montagem:	μ Montagem				ChH	Ci		
	B1	Estrutura									0
	B2										
	B3										
	B4										
	B5										
	B6										

Figura 3: Exemplo Atividades B.

Fonte: Autor (2025).

Assim os dados coletados foram utilizados para identificar os agrupamentos de atividades de custos mais elevados durante o processo de montagem, permitindo a compreensão desses dados quantitativos juntamente do efetivo que compõem a mão de obra e ao equipamento alugado possibilitou prospectar como aplicar a montagem ágil. Para o cálculo do item (i), referente ao tempo demandado, adotou-se o método da triplicata, no qual cada atividade foi cronometrada três vezes, em horas por jornada diária de 8 horas, permitindo a obtenção da média aritmética do tempo de execução (μT).

O efetivo (Ef.), correspondente ao item (ii), foi definido pelo supervisor de obra com base em sua experiência profissional e no conhecimento prévio dos processos de montagem de estruturas metálicas, estabelecendo-se a quantidade adequada de trabalhadores por equipe. Para o cálculo do item (iii), foi definido o custo padrão dos funcionários a partir da média salarial por função, considerando montadores e auxiliares de montagem. Os valores médios adotados foram de R\$ 3.500,00 para montadores e R\$ 1.800,00 para auxiliares. O custo hora-homem (ChH) foi obtido dividindo-se esses valores por 220 horas mensais de trabalho, resultando em R\$ 15,90/h para os montadores e R\$ 8,18/h para os auxiliares.

O único equipamento alugado considerado no estudo foi a Plataforma Elevatória Móvel

de Trabalho (PEMT), com custo diário de R\$ 640,00. Esse equipamento, composto por um cesto acoplado a um braço hidráulico com alcance aproximado de 16 metros, permitiu a execução das atividades em diferentes frentes de trabalho e alturas, dispensando a necessidade de escalada manual da estrutura metálica. Sua utilização contribuiu para o melhor aproveitamento do tempo de montagem e para o aumento da segurança operacional.

Para a quantificação do item (iv), foi determinado o custo individual da atividade (C_i) em função do efetivo empregado, utilizando-se o custo hora-homem (ChH), o número de trabalhadores envolvidos (Ef.) e a média do tempo de execução (μT), conforme a Equação (I):

$$C_i = ChH * Ef. * \mu T \quad (I)$$

- ChH = Custo Hora-Homem;
- Ef. = Efetivo;
- μT = Média dos Tempo

Considerando que o módulo possuía dois pavimentos, foi identificado o custo total (CT) por pavimento, de acordo com as atividades realizadas por equipe. O CT foi obtido pela soma dos custos individuais (C_i) de todas as atividades executadas em cada pavimento, acrescida dos valores correspondentes ao aluguel da PEMT nas atividades que demandaram sua utilização.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelo desenvolvimento do estudo, descrevendo os parâmetros analisados e facilitando a compreensão das conclusões deste estudo. Esta etapa teve como objetivo demonstrar o comportamento real dos dados em obra e evidenciar as informações que sustentam os achados do trabalho.

Com o intuito de assegurar a linearidade e a continuidade do estudo, os resultados foram organizados de acordo com os elementos investigados, seguindo a sequência metodológica adotada: (i) organização e uso dos dados; (ii) constatações dos problemas do processo original, com registros; (iii) alteração para a montagem ágil; (iv) padronização do processo por meio da Rede PERT; (v) identificação dos custos por agrupamento e (vi) discussões gerais.

4.1 ORGANIZAÇÃO E USO DOS DADOS

O primeiro aspecto avaliado se refere ao prazo de entrega, cuja redução constituiu o principal objetivo deste estudo. Assim, por meio dos registros dos diários de obra, verificou-se que o primeiro módulo apresentou um tempo de montagem de 70 dias. Contudo, esse valor foi classificado como *outlier*, uma vez que o primeiro registro tende a não representar fielmente o comportamento real do objeto de estudo, considerando-se que ajustes iniciais são comumente

necessários nas fases iniciais de implantação e adequação dos processos.

A análise concentrou-se no segundo e no terceiro terço da execução da obra, período compreendido entre o bimestre final de 2024 e o bimestre final de 2025, intervalo no qual os processos produtivos se encontraram mais estabilizados. Em março de 2025, por exemplo, foi observado um módulo concluído em 25 dias, sem a ocorrência de interferências externas significativas, como atrasos de fornecedores, fiscalizações ou problemas operacionais, e utilizando o mesmo efetivo empregado no primeiro registro, que havia demandado 70 dias. Esse resultado foi validado por engenheiros e encarregados como o menor prazo obtido até então, mesmo na ausência de uma linha de montagem formalmente padronizada, não sendo identificados registros com duração inferior ou com menor incidência de entraves logísticos.

Esse achado corroborou as contribuições de Kerzner (2025), que destacou que o desempenho produtivo está mais associado à eficiência da gestão das atividades do que ao simples aumento da mão de obra. Adicionalmente, a recorrência de ociosidade decorrente da ausência de padronização reforçou as observações de Collyer e Warren (2009), segundo as quais ambientes dinâmicos e incertos, como os megaprojetos, tendem a apresentar atrasos quando as decisões operacionais dependem exclusivamente do conhecimento tácito dos gestores. Assim, os dados analisados evidenciaram a necessidade de formalização do sequenciamento das atividades como forma de mitigar paralisações recorrentes.

Dando continuidade ao processo metodológico, após a identificação dos tipos de peças ao longo da montagem, em ambos os pavimentos, e suas respectivas finalidades, foram definidas três equipes para atuação em cada categoria de atividade. As atividades apresentadas na Tabela 1 foram então distribuídas entre as equipes, utilizando-se a codificação alfanumérica estabelecida, de acordo com o pavimento de execução e a sequência das atividades. A Tabela 3 apresenta a organização das atividades, com seus respectivos códigos e equipes designadas.

Tabela 3: Atividades por Equipe.

ód.	Estrutura	Cód.	Complemento	ód.	Fechamento
1	Vigas Long. Baixas	C1	Contraventos Inf.	1!	Terças da Cobertura
2	Vigas Transv. Inf.	C2	Trilhos Inf.	2!	Telas Laterais
3	Topografia Inf.	C3	Torqueamento Inf.	3!	Telhas Laterais Inf.
	Colunas de Quina	C4	Chapas Dobradas Inf.		Telhas Laterais Sup.

4			4!
5	Colunas Inferiores	C5	Grades de Piso Inf.
6	Vigas Long. Altas	E1	Contraventos Centrais Sup.
1	Vigas Transv. Sup.	E2	Contraventos Sup.
2	Mão-Francesas	E3	Trilhos Sup.
3!	Vigas Long. Sup.	E4	Torqueamento Sup.
4	Pórticos	E5!	Chapas Dobradas Sup.
		E6!	Grades de Piso Sup.
		E7!	Tirantes

Fonte: Autor (2025).

Esta tabela, ainda no período teórico do levantamento das possibilidades neste estudo, foi apresentada aos encarregados e desenvolvida com acompanhamento do supervisor da obra. Esse processo permitiu a validação prática da distribuição das atividades entre as equipes, assegurando uma organização coesa e logicamente estruturada das tarefas atribuídas a cada grupo. A interação entre a análise teórica e a experiência operacional dos envolvidos contribuiu para a consistência do modelo proposto, servindo como base para as etapas subsequentes de padronização do processo e estruturação da Rede PERT.

4.2 CONSTATAÇÕES DOS PROBLEMAS DO PROCESSO ORIGINAL

Para compreender o processo de montagem inicialmente utilizado na obra, foi necessário analisar como a equipe executava as atividades antes da aplicação da metodologia proposta. Deste modo identificou-se que não havia qualquer documento formal orientando a sequência de montagem dos módulos; as decisões eram tomadas com base na experiência acumulada em obras anteriores e em discussões pontuais entre supervisor e encarregados.

Essa constatação qualitativa foi reforçada por meio de observações diretas em campo e entrevistas realizadas com os membros do efetivo, nas quais foram abordadas questões relacionadas às próximas atividades a serem executadas, às possibilidades de antecipação lógica de tarefas e ao conhecimento sobre as atividades simultaneamente realizadas por outras frentes de trabalho. Também foram investigadas as medidas corretivas adotadas para evitar conflitos operacionais e assegurar a continuidade da montagem.

As respostas evidenciaram elevado grau de incerteza quanto ao andamento geral da obra e apontaram três principais causas geradoras de atrasos, sob a perspectiva dos trabalhadores. A primeira relacionou-se à necessidade de reaprendizado, decorrente de longos intervalos entre a repetição de uma mesma atividade, o que impactou negativamente a produtividade. A segunda esteve associada à incerteza quanto à progressão das frentes de trabalho, uma vez que os montadores frequentemente aguardavam a chegada do supervisor à obra para a avaliação das possibilidades de execução, gerando períodos de ociosidade. A terceira referiu-se à ausência de equipes previamente definidas, o que resultou em indefinição do efetivo disponível e demandou tempo adicional de planejamento por parte dos montadores para a organização das atividades.

Além disso, não foi possível estruturar uma Rede PERT que representasse de forma minimamente fidedigna o processo original de montagem e a duração média de 25 dias por módulo, conforme relatado pelos engenheiros da obra. Isso ocorreu porque, além dos atrasos relacionados ao fornecimento de materiais, o modelo de montagem linear adotado era sistematicamente paralisado ao se deparar com qualquer entrave operacional. Dessa forma, uma tentativa de esquematização do processo original não refletiria a realidade da obra, uma vez que as atividades eram definidas de maneira diária e variável, conforme a percepção momentânea do supervisor. Tal dinâmica resultou no acúmulo de frentes paralelas, conflitos de priorização e perda do ritmo produtivo.

A.

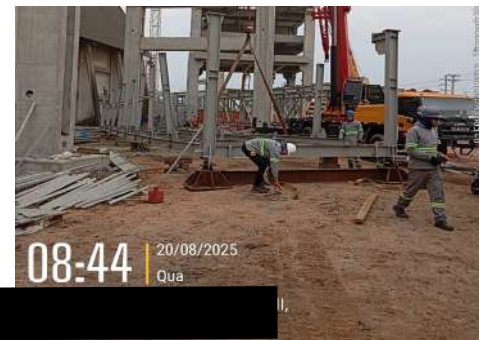


Figura 3: Atraso por paralisação.

Fonte: Registro de Obra (2025).

Por meio das Figuras 3-A e 3-B, nota-se uma lacuna de 13 dias entre a execução das atividades B1, B2 e B3 (em 07/08) e a retomada com B4 e B5 (em 20/08). A paralisação ocorreu pela falta das peças da extremidade direita do módulo, necessárias para executar o B4 (colunas de quina). Apesar da possibilidade de avançar verticalmente pela esquerda, o método linear

impunha a interrupção total, atrasando sua entrega e criando a necessidade de abrir outro módulo, as atividades paralelas entre os dois causava mais atrasos em ambos. Essa constatação do levantamento deste estudo que permitiu que os gestores da empresa se interessassem em compreender a metodologia ágil e aplicar o processo de montagem agilizada.

A empresa do estudo não detalhava os custos individualmente por atividade separando os gastos financeiros em gastos administrativos (despesas) e os gastos operacionais (custos da montagem). Os gastos administrativos englobam as despesas fixas ou inalteráveis por este estudo: hospedagem dos funcionários, alimentação, alugueis de escritório; e os gastos operacionais são o que este estudo pretende identificar após a padronização, em reuniões de alinhamento e planilhas advindas dos RH e o engenheiro de finanças da empresa constatou-se que estes gastos superavam R\$42.000,00 mensais, englobando gastos fixos de salários e variados de aluguel da PEMT entre os períodos de abertura de um módulo e sua entrega.

4.3. ALTERAÇÃO PARA MONTAGEM ÁGIL

Após a identificação e a análise dos principais problemas associados ao processo original, tornou-se necessário adotar uma estratégia capaz de mitigar as paralisações recorrentes e a ociosidade observada. Nesse contexto, optou-se pela aplicação do modelo de montagem ágil que foi utilizado em razão de sua maior praticidade em relação ao modelo linear originalmente adotado, uma vez que permitiu o avanço das equipes mesmo em situações que anteriormente eram caracterizadas como entraves logísticos e que resultavam na paralisação completa do módulo. Essa nova abordagem teve como objetivo manter a continuidade da montagem e reduzir a ociosidade, possibilitando a execução de frentes de trabalho alternativas quando surgiam impedimentos à progressão direta das atividades. As principais restrições à sua aplicação estiveram associadas à interface com outras empresas atuantes no megaprojeto.

Por se tratar de uma técnica pouco utilizada no setor e por ser um megaprojeto com investimento elevado a montagem era um assunto receoso para as empresas investidoras e que participavam da obra em outros setores. Nesse contexto, a montagem linear foi adotada como método inicial em função de sua maior previsibilidade e percepção de segurança, caracterizando-se pela execução sequencial do módulo e pela paralisação integral diante da ocorrência de qualquer entrave, como forma de manter o controle da progressão, consequentemente gerando atrasos no cronograma.

No entanto, após a conclusão do primeiro terço do cronograma da obra e a constatação

formal de que o empreendimento se encontrava em atraso, foi concedida maior flexibilidade para a alteração do método de montagem. A partir desse ponto, tornou-se possível a migração para um método mais dinâmico, denominado neste estudo como montagem ágil, no qual ocorre a transição coordenada das atividades entre o primeiro e o segundo pavimento.

Após a implementação das estratégias propostas neste estudo, a obra passou a permitir o avanço tanto horizontal quanto vertical das atividades, conforme as condições reais observadas. A Figura 4-A ilustra a abertura de um módulo em 29 de setembro de 2025, no qual foi possível aplicar integralmente o processo de montagem ágil desenvolvida.



Figura 4: Mitigação de paralisação.

Fonte: Registro de Obra (2025).

Conforme observado na Figura 4-B, as atividades D1 (vigas transversais superiores) foram iniciadas mesmo sem a conclusão da atividade B6, a qual se encontrava impedida em função da indisponibilidade de peças. Esse cenário evidenciou a aplicabilidade da lógica de montagem ágil proposta, permitindo a manutenção do fluxo produtivo e a continuidade do processo. Os resultados obtidos a partir dessa flexibilidade corroboraram os achados de Ma et al. (2025), que destacaram a coordenação entre frentes de trabalho como fator determinante para o desempenho de megaprojetos. Dessa forma, os resultados demonstraram que a estratégia de montagem ágil corrigiu os problemas previamente identificados e ampliou a estabilidade operacional da obra. Ressalta-se que a obtenção desses resultados foi precedida pela padronização do processo por meio da estruturação da Rede PERT.

4.4 PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO COM REDE PERT

Considerando que a Rede PERT representava um conceito novo para o supervisor de obra, optou-se por não apresentar inicialmente uma única rede integrada envolvendo todas as

equipes, portanto, para de facilitar a compreensão e reduzir possíveis resistências operacionais, foram elaboradas três Redes PERT distintas, uma para cada equipe: Estrutura, Complemento e Fechamento. Essa estratégia permitiu que cada grupo visualizasse apenas a sequência de atividades sob sua responsabilidade, favorecendo uma execução mais segura, organizada e aderente à realidade de campo. Com a colaboração das equipes operacionais, foi possível realizar testes, validar sequências e ajustar os tempos das atividades, o que contribuiu significativamente para o avanço da padronização do processo.

Como a equipe Estrutura constitui a base para as demais etapas, suas atividades são a primeira frente de trabalho. Assim, a organização dos seus tempos e relações de precedências foram apresentados na Tabela 4 e representada graficamente na Figura 5. Para o período das atividades incorporou-se as médias dos tempos (μT) ao sequenciamento, permitindo melhor distribuição das atividades dentro do período total de 15 dias obtido, para encontrar o valor de dias por equipe utilizou-se o valor final do período e dividiu-se por 8 horas diárias de trabalho.

Tabela 4: Precedências equipe estrutura.

Dia	Atividade	Dependência	Est. Otimista	Est. Mais Provável	Est. Pessimista
1º	B1	-	4	4,5	5
1º	B2	-	1,5	1,83	2
1º	B3	B1	1	1,83	2,5
1º	B4	B2	0,5	0,75	1
2º	B5	B3 ; B4	7,5	7,75	8
2º	B6	B3 ; B4	7,5	7,75	8
3º	D1	B5 ; B6	5,5	6,33	7,5
4º	D2	D1	3	3,5	4
4º	D3!	D1	4	4,5	5
5º	D4	D2 ; D3!	7,5	7,67	8

Fonte: Autor (2025).

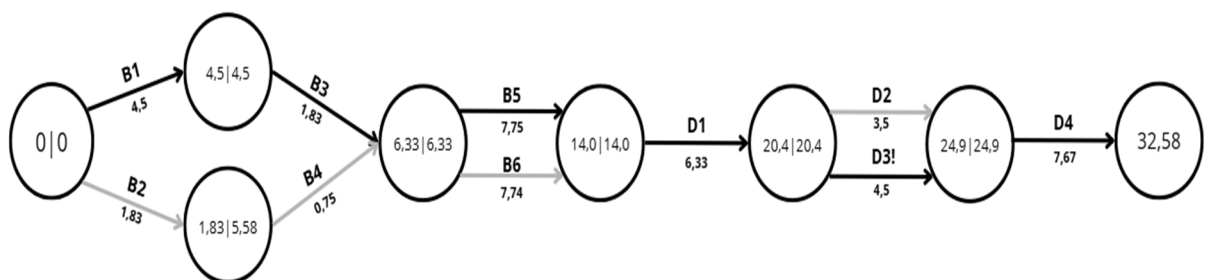


Figura 5: Rede PERT da Estrutura.

Fonte: Autor (2025).

O caminho crítico definido para a Equipe Estrutura foi composto pelas atividades B1, B3, B5, D1, D3! e D4, correspondendo a aproximadamente 4,07 a 5 diárias de trabalho. Havendo possibilidade de folga operacional, destinada a ajustes de campo, preparações e eventuais imprevistos, sem comprometer o prazo final então arredonda-se todas as diárias.

A lógica de sequenciamento considerou o tipo de peça, os encaixes estruturais e as dependências construtivas do processo. As atividades que demandaram o uso da Plataforma Elevatória Móvel de Trabalho (PEMT) foram identificadas com o símbolo (“!”). Além disso, foram previstas folgas operacionais para garantir flexibilidade na execução sem comprometer o cronograma global. Já em relação à Equipe de Complemento, as informações foram expostas na Tabelas 5 e a Figura 6.

Tabela 5: Precedências equipe complemento.

Dia	Atividade	Dependência	Est. Otimista	Est. Mais Provável	Est. Pessimista
2º	C1	-	7,25	7,58	8
3º	C2	C1	3,5	3,75	4
6º	E1	C2	4	4,25	4,5
6º	E2	C2	3	3,50	4
7º e 8º	C3	E1	12,5	12,75	13
7º	E3	E2	3	3,25	3,5
9º	C4	C3	2	2,67	3
9º	E4	E3	5	5,33	6
10º	E5!	E4	7,25	7,58	8
11º	C5	C4	3,5	3,83	4
11º e 12º	E6!	C5	6	6,83	7,5
12º	E7!	E5	5	5,50	6

Fonte: Autor (2025).

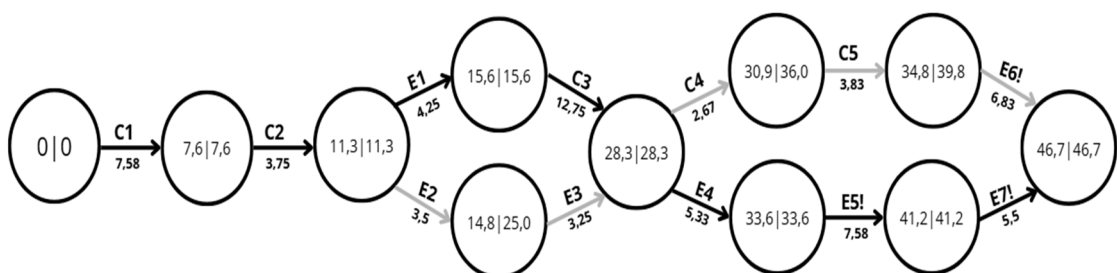


Figura 6: Rede PERT de Complemento.

Fonte: Autor (2025).

Para a Equipe Complemento, que utilizou a PEMT em três atividades distintas, o tempo total estimado para execução foi de aproximadamente 5,8 a 6 dias, não consecutivos, uma vez que sua atuação dependia do avanço da estrutura. Embora essa dependência ainda gerasse períodos pontuais de ociosidade, estes foram significativamente inferiores aos observados no processo original, no qual frequentemente não havia frentes de trabalho disponíveis. O caminho crítico dessa equipe foi composto pelas atividades C1, E1, C3, E4, E5!, E6! e E7!.

Por fim, a Equipe Fechamento atua nas etapas finais da montagem, com duração estimada entre 3,43 e 4 diárias, utilizando a PEMT em todas as suas atividades. O caminho crítico dessa equipe foi composto pelas atividades F1!, F3! e F4!. As respectivas precedências e a Rede PERT foram apresentadas na Tabela 6 e na Figura 7.

Tabela 6: Precedências equipe fechamento.

Dia	Atividade	Dependência	Est. Otimista	Est. Mais Provável	Est. Pessimista
12° e 13°	F1!	-	14	15,17	16
14°	F2!	F1!	3	3,17	3,5
14°	F3!	F1!	4,5	5,00	5,5
15°	F4!	F2 ; F3	7	7,33	7,5

Fonte: Autor (2025).

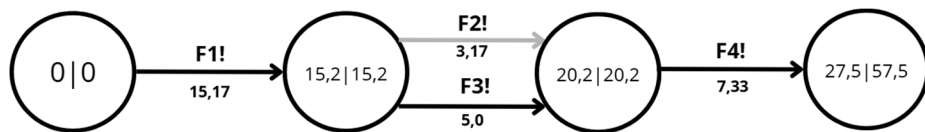


Figura 7: Rede PERT de Fechamento

Fonte: Autor (2025).

A partir desses sequenciamentos individuais, elaborou-se uma visualização simplificada do processo completo, apresentada na Figura 8, que representou a distribuição das atividades ao longo do período padronizado de execução de um módulo. Nessa representação, as datas foram ajustadas com base nas folgas operacionais, sendo cada seta correspondente a uma diária de trabalho e cada nó representando a conclusão de um período

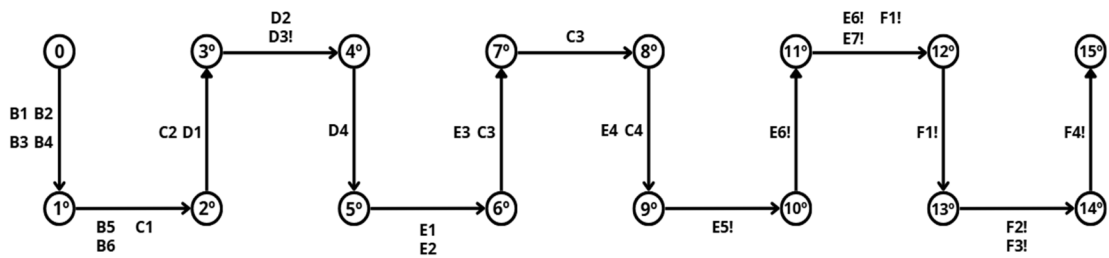


Figura 8: Atividades pelo Período

Fonte: Autor (2025).

Com a implementação das alterações propostas no processo de montagem, verificou-se que o modelo de padronização desenvolvido por meio da Rede PERT, associado aos princípios da metodologia ágil, resultou em um novo prazo de execução de 15 dias por módulo. Esse valor representou uma redução de aproximadamente 40% em relação ao tempo anteriormente observado nos registros de obra, que era de 25 dias. Esse resultado evidenciou a efetividade da metodologia proposta e sua aplicabilidade prática no contexto analisado.

A substituição do modelo empírico original pela Rede PERT possibilitou padronizar o processo e reduzir o prazo de montagem em 40%, resultados semelhantes foram observados por Zen e Chiminelli (2022), ao verificar redução significativa do tempo de fabricação ao implementar PERT em uma indústria metalúrgica. Essa convergência entre teoria e prática reforça que, conforme Kerzner (2025), a formalização do sequenciamento reduz incertezas e aumenta a previsibilidade operacional; logo, a redução observada não vem do aumento de recursos empregados, mas da mitigação de ociosidades e reorganização lógica do trabalho, além de expertise adquirida pela familiaridade.

Assim, o módulo apresentado nas Figuras 4-A e 4-B que seguiu rigorosamente o sequenciamento elaborados nas Rede PERT; alternando entre atividades do primeiro e do segundo nível conforme a disponibilidade das frentes de trabalho e da metodologia ágil empregada; foi iniciado em 29 de setembro de 2025 e concluído em 13 de outubro de 2025, dentro dos 15 dias previstos. A Figura 9 apresenta o registro do içamento do módulo, realizado um dia após a entrega, 14 de outubro, para permitir checklist e conferência do contratante.

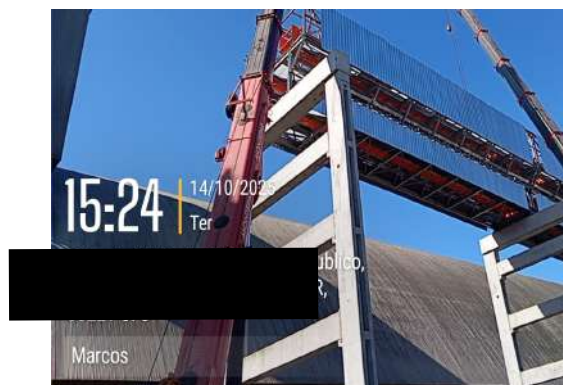


Figura 9: Içamento no prazo

Fonte: Registro de Obra (2025).

O período seguindo a Rede PERT elaborada neste estudo foi de 15 dias, que representa uma redução de 40% em relação ao prazo original de 25 dias. Empregou três equipes com definidas pelo supervisor da obra na empresa estudada; e foram distribuídos da seguinte forma:

- Equipe Estrutura: 2 montadores e 4 auxiliares; e 1 aluguel de PEMT.
- Equipe Complemento: 1 montador e 3 auxiliares; e 3 aluguéis de PEMT.
- Equipe Fechamento: 2 montadores e 2 auxiliares; e 4 aluguéis de PEMT.

A padronização das informações referentes ao efetivo e à locação de equipamentos permitiu identificar e estruturar formalmente os custos da operação, segregando-os por equipe e por agrupamento de atividades em cada pavimento. Essa sistematização forneceu à empresa uma visão clara e objetiva da aplicação dos recursos financeiros dentro da metodologia proposta, contribuindo para a tomada de decisões gerenciais mais fundamentadas.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS CUSTOS POR AGRUPAMENTO

Após a padronização do processo de montagem por meio da Rede PERT e a definição das equipes, dos prazos e das sequências de execução, tornou-se necessário avaliar os impactos financeiros decorrentes da metodologia proposta. Dessa forma, procedeu-se à identificação e à análise dos custos associados aos diferentes agrupamentos de atividades.

Desta forma, por meio da Figura 10 apresentou-se as tabelas utilizadas para estruturar os dados coletados ao longo do estudo, contemplando a diária em que cada atividade foi executada, os tempos registrados em campo, a média aritmética dos tempos (μT), o efetivo empregado por equipe, o custo hora-homem, o custo individual das atividades e a identificação daquelas que demandaram o aluguel de equipamentos, bem como seus respectivos valores diários. Essas informações foram fundamentais para o cálculo do Custo Total (CT) do processo

de montagem.

A.

Dia	Atv.	Classe:	Horas / Dia			μ Montagem	uni.	N° Envolvidos:	Função	uni.	R\$		R\$	R\$	R\$
			Tempo de Montagem:	ChH	Ci						Aluguel	Custo Total:			
12° e 13°	F1!	Fechamento	16	14	15,5	15,17	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 482,30	RS 1.280,00	RS 4.676,91		
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 248,13				
14°	F2!		3	3,5	3	3,17	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 100,70	RS 640,00			
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 51,81				
14°	F3!		5	4,5	5,5	5,00	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 159,00	RS 640,00			
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 81,80				
15°	F4!		7	7,5	7,5	7,33	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 233,20	RS 640,00			
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 119,97				

B.

Dia	Atv.	Classe:	Horas / Dia			μ Montagem	uni.	N° Envolvidos:	Função	uni.	R\$		R\$	R\$	R\$
			Tempo de Montagem:	ChH	Ci						Aluguel	Custo Total:			
1°	B1	Estrutura	4	5	4,5	4,50	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 143,10	RS 974,77			
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 147,24				
1°	B2		2	2	1,5	1,83	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 58,30				
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 59,99				
1°	B3		2	1	2,5	1,83	2	Auxiliares	2	RS 8,18	RS 29,99				
1°	B4		0,5	0,75	1	0,75	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 23,85				
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 12,27				
2°	B5		8	7,5	7,75	7,75	4	Montadores	2	RS 15,90	RS 246,45				
								Auxiliares	2	RS 8,18	RS 126,79				
2°	B6		7,5	7,75	8	7,75	2	Auxiliares	2	RS 8,18	RS 126,79				

Dia	Atv.	Classe:	Horas / Dia			μ Montagem	uni.	N° Envolvidos:	Função	uni.	R\$		R\$	R\$	R\$
			Tempo de Montagem:	ChH	Ci						Aluguel	Custo Total:			
3°	D1	Estrutura	6	7,5	5,5	6,33	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 201,40	RS 2.059,44			
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 207,23				
4°	D2		3	4	3,5	3,50	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 111,30				
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 114,52				
4°	D3!		4	5	4,5	4,50	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 143,10	RS 640,00			
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 147,24				
5°	D4		7,5	7,5	8	7,67	6	Montadores	2	RS 15,90	RS 243,80				
								Auxiliares	4	RS 8,18	RS 250,85				

C.

Dia	Atv:	Classe:	Horas / Dia			µ Montagem	uni.	Nº Envolvidos:	Função	Ef.	R\$		R\$	R\$	R\$
			Tempo de Montagem:								ChH	Ci			
2º	C1	Complemento	7,5	8	7,25	7,58	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 120,58	RS 1.193,16			
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 186,10				
3º	C2		4	3,5	3,75	3,75	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 59,63				
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 92,03				
7º e 8º	C3		13	12,5	12,75	12,75	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 202,73				
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 312,89				
9º	C4		2	3	3	2,67	2	Montadores	1	RS 15,90	RS 42,40				
								Auxiliares	1	RS 8,18	RS 21,81				
11º	C5		4	3,5	4	3,83	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 60,95				
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 94,07				

Dia	Atv:	Classe:	Horas / Dia			µ Montagem	uni.	Nº Envolvidos:	Função	Ef.	R\$		R\$	R\$	R\$
			Tempo de Montagem:								ChH	Ci			
6º	E1	Complemento	4	4,5	4,25	4,25	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 67,58	RS 3.897,52			
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 104,30				
6º	E2		3,5	3	4	3,50	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 55,65				
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 85,89				
7º	E3		3	3,5	3,25	3,25	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 51,68				
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 79,76				
9º	E4		5	6	5	5,33	2	Auxiliares	2	RS 8,18	RS 87,25				
10º	E5!		8	7,5	7,25	7,58	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 120,58		RS 640,00		
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 186,10				
11º e 12º	E6!		7	6	7,5	6,83	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 108,65		RS 1.280,00		
								Auxiliares	3	RS 8,18	RS 167,69				
12º	E7!	5	6	5,5	5,50	4	Montadores	1	RS 15,90	RS 87,45	RS 640,00				
							Auxiliares	3	RS 8,18	RS 134,97					

Figura 10: Organização dos custos.

Fonte: Autor (2025).

Com uso do software Excel, a estrutura na Figura 10 permitiu a visualização e a quantificação detalhada dos dados, possibilitando a identificação das etapas com maior impacto financeiro e a análise da alocação dos custos relacionados ao aluguel da Plataforma Elevatória Móvel de Trabalho (PEMT). A partir dessa sistematização, foi elaborada a Tabela 7, que consolidou os custos por pavimento e seu agrupamento de atividades, viabilizando a obtenção do custo total absoluto da montagem ágil.

Tabela 7: Exemplo de precedências das atividades.

Andar	Código	Aluguéis	Custo Total	Total Absoluto
1º	B	-	R\$ 974,77	R\$ 12.801,80
1º	C	-	R\$ 1.193,16	
1º e 2º	F	4	R\$ 4.676,91	
2º	D	1	R\$ 2.059,44	
2º	E	3	R\$ 3.897,52	

Fonte: Autor (2025).

O custo total para montar um módulo metálico dentro do prazo estabelecido pelas Redes PERT é de R\$ 12.801,80. Nota-se com a Tabela 7 acima o impacto que o uso de equipamentos alugados causa dentro dos gastos financeiros nesta montagem, isso é um fator importante que foi levado em consideração na elaboração da rede diretamente sobre a decisão de utilizá-los nas etapas finais das equipes para reduzir o risco de que os entraves logísticos permitissem que fossem desperdiçadas diárias do equipamento, o que aumentaria os custos desnecessariamente;

Esse impacto é principalmente constatado pelo fato de que a equipe Fechamento, que realiza apenas quatro atividades para o agrupamento F, possui em si o maior custo por agrupamento, em decorrência do fato de utilizar a PEMT em todas as suas atividades, sendo de R\$ 4.676,91.

Considerando o custo médio advindo do setor financeiro da empresa de R\$42.000,00 para os gastos operacionais mensais, como o período original era de 25 dias, proporcionando o custo médio encontra-se o valor de R\$ 35.000,00. Com o resultado obtido ao identificar os custos para o período de quinze dias, sendo R\$ 12.801,80, adicionou-se mais dois terços do mesmo valor (custo para dez dias), para manter a proporção entre as partes, encontrou-se o valor de R\$ 21.335,47 para a montagem ágil operando dentro do período do processo original.

Contrastando ambos os gastos, devidamente proporcionados, percebe-se que o gasto operacional também foi reduzido em aproximadamente 40% (quarenta por cento) no mesmo período de 25 dias.

4.6 DISCUSSÕES GERAIS

Este estudo discute seus resultados em pontos ao qual corrobora, e é corroborado com autores que realizaram trabalhos com objetivos semelhantes, e pontos em que possui um desenvolvimento divergente ao modo usual de aplicação da teoria academia convencional. Autores como Zen e Chiminelli (2022) realizaram o uso de um Rede PERT/CPM em uma metalúrgica onde também obtiveram redução no período de fabricação de seu estudo; tal qual o resultado obtido dentro deste levantamento atual. Essa metodologia serviu para padronização do processo, o que foi um impacto positivo conforme o PMI (2021) e autoras como Ma (2025) que destacam sobre como a gestão e coordenação dentro de um projeto é positivo para mitigar ociosidade e contribuir para a sua sustentabilidade financeira.

Em decorrência do fato de processo de montagem necessitar de equipamento alugado,

este levantamento corrobora a afirmação de Maximiano (2002) onde o autor afirma que sequenciar as atividades permite um estabelecimento de prioridades; o modelo de montagem ágil identificou esta relação ao destinar o uso do equipamento nas etapas finais da montagem. Assim, aumentando a eficiência na gestão ao empregar o uso da PEMT de forma à evitar desperdícios de diária; se as atividades com equipamento alugado estivessem distribuídas nas etapas do centro do sequenciamento os riscos de entraves logísticos e dependências afetar o ritmo de montagem seria consideravelmente maior, resultando em gastos desnecessários.

Esta forma de agrupamento de atividades que buscou aumentar a eficiência da gestão se baseou no conceito pertinente apresentado por Kerzner (2025) sobre como o desempenho produtivo está mais associado à eficiência na gestão das atividades e não na expansão de recursos. Este foco no gerenciamento permitiu maior controle sobre as atividades e permitiu que a Rede PERT fosse elaborada de forma mais coesa e planejada, como destaca as autoras Meredith e Mantel (2017).

Entrando no aspecto de sustentabilidade financeira, padronizar o processo permitiu que o gerenciamento de custos pudesse ser identificado conforme cada pavimento foi realizado dentro do processo de montagem ágil, conforme o objetivo do conceito dessa temática segundo Dutra (2009) e o PMI que também destaca como a ausência de sincronização gera riscos de elevação de custos e é um fator crítico para o desequilíbrio orçamentário; o que é corroborado contrastando os custos para 25 dias no processo original neste megaprojeto e seus custos pós padronização por meio deste estudo.

5. CONCLUSÕES

Na elaboração deste estudo tomou-se como objetivo a padronização de um megaprojeto que estava sendo desenvolvido com um modelo linear de progressão e com um sequenciamento baseado em empiricismo de acordo exclusivamente nas experiências passadas pelo supervisor de obra. Para alcançar tal objetivo foi definido que seria utilizado conceitos científicos como a metodologia ágil aplicada a construção civil que definiria os parâmetros no desenvolvimento de uma Rede PERT que demonstraria a padronização obtida; e seria utilizada para evidenciar como os novos gastos operacionais se comportavam após o estudo.

O objetivo foi alcançado padronizando o processo com um novo modelo ágil de progressão, com transição de atividades entre ambos os pavimentos da estrutura e com flexibilidade para contornar entraves operacionais conforme disponibilização das frentes de

trabalho. Resultando em um sequenciamento de atividades que demandava apenas 15 dias para finalizar o processo que estava levando 25; e os gastos operacionais quando colocados em contraste com os gastos originais para um mesmo período, demonstraram uma redução de aproximadamente 40%, sendo este um respaldo do impacto positivo adquirido por este estudo. Como implicações acadêmicas deste estudo é ressaltado como independentemente do tamanho de um empreendimento conceitos clássicos como Rede PERT e Gerenciamento de Custos são uma base pertinente para atingir um sequenciamento de atividades que sanem problemas de ociosidade para os tomadores de decisões.

Como limitações este estudo destaca que as metodologias ágeis são amplas e poderiam ser mais bem aproveitadas se as partes interessadas estivessem mais dispostas em compreender os avanços nos métodos de desenvolvimento e gestão em projetos civis; sendo esta uma questão baseada em conservadorismo do setor da construção e receio dos riscos ao sair dos métodos tradicionais e consolidados. Para estudos futuros este levantamento destaca que seria proveitoso e pertinente aplicar mais ferramentas e métodos específicos da metodologia ágil, conforme a permissibilidade da obra, para flexibilizar ainda mais o atual engessamento do setor quanto a novidades de desenvolvimento e gestão.

REFERÊNCIAS

- Cantarelli, C. C., Flyvbjerg, B., Molin, E. J., & Van Wee, B. (2013). Cost overruns in large-scale transportation infrastructure projects: Explanations and their theoretical embeddedness. arXiv preprint arXiv:1307.2176.
- Collyer, S., & Warren, C. M. (2009). Project management approaches for dynamic environments. *International journal of project management*, 27(4), 355-364.
- Dutra, René Gomes. *Custos: uma abordagem prática*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project management journal*, 45(2), 6-19.
- Kerzner, H. (2025). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.
- Koskela, Lauri; Perttula, Jouni. Lean Construction: A New Paradigm for Construction Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 144, n. 2, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001394.
- Ma, L., Ali, A., Farooq, M. S., & Musonda, J. (2025). Boosting Coordination and Employee Motivation in Mega-Project Sustainable Performance Through Quality Relationships: The Key Role of Quality Management System. *Buildings*, 15(6), 936.
- Maximiano, A. C. A. (2002). Administração de projetos: como transformar idéias em resultados. In *Administração de Projetos: como transformar idéias em resultados* (pp. 196-196).
- Meredith, J. R., Shafer, S. M., & Mantel Jr, S. J. (2017). *Project management: a strategic managerial approach*. John Wiley & Sons.

- Poole Jr, R. W., & Samuel, P. (2011). Transportation mega-projects and risk. *Reason Foundation Policy Brief*, 97.
- Project Management Institute. (2021, July). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)–Seventh Edition and The Standard for Project Management. Project Management Institute.
- Rodolpho, F. L., & Junior, A. D. S. M. (2025). Aplicação de metodologias ágeis para melhorar eficiência na construção civil: benefícios, desafios e lições aprendidas. *Gestão e Gerenciamento*, (34).
- Silva, João; Almeida, Maria. Agile Methodologies in Construction Projects: A Case Study Analysis. *International Journal of Construction Management*, v. 19, n. 3, p. 234-245, 2019.
- Silva, M. V. B. Gestão do tempo na construção civil e sua relação com as demais áreas da gestão de projetos. *Revista On-Line IPOG. Goiânia*, v.01, n.010, p. 1-14, jan. 2015. Disponível em: . Acessado em abril. 2025
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations management 10th edition*. Pearson.
- Tecnológica, (2025). *Setor portuário receberá R\$ 19,7 bilhões em investimentos em 2025*. Disponível em: <https://www.tecnologica.com.br/noticias/portos/19451/setor-portuario-recebera-r-19-7-bilhoes-em-investimentos-em-2025/>.
- Vale, H. B., & Alves, L. (2022). Metodologias ágeis na construção civil e suas diferenças sobre a metodologia cascata tradicional. *Boletim do Gerenciamento*, 30(30), 12-19.
- Venkatesh, V., Brown, S. A., & Bala, H. (2013). Bridging the qualitative-quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. *MIS quarterly*, 21-54.
- Zen, M. C., & Chiminelli, C. (2022). Aplicação do método de rede PERT/CPM e gráfico de GANTT no processo de fabricação de uma máquina vibro prensa em uma indústria metalúrgica de pequeno porte. *Revista da UNIFEFE*, 27, 1679-8708.

GESTÃO E POSICIONAMENTO DE MERCADO PARA UMA EMPRESA DE ENGENHARIA CIVIL EM EXPANSÃO: UM ESTUDO SOBRE A ATUAÇÃO EM PARANAGUÁ

Larissa Alves da Silva

larissaalvesdasilva92@gmail.com

Valderice Herth Junkes

valderice.junkes@unespar.edu.br

Resumo: Uma inserção bem-sucedida em novos mercados exige que as empresas adotem estratégias que promovam visibilidade, credibilidade e uma reputação estável, além das competências técnicas. Nesse contexto, este estudo analisou os desafios e as estratégias de expansão de uma empresa de engenharia em Paranaguá (PR), por meio de uma abordagem exploratório-descritiva que integrou questionário com profissionais dos setores industrial, portuário, ferroviário e de infraestrutura e um grupo focal com gestores. A análise conjunta da SWOT, do 5W2H e da matriz esforço \times impacto evidenciou fragilidades como baixa visibilidade institucional, estrutura reduzida e processos comerciais em desenvolvimento, assim como oportunidades relacionadas à expansão portuária, à demanda crescente por serviços especializados e ao fortalecimento de redes estratégicas locais. Com base nesse diagnóstico, elaborou-se um plano de ação com indicadores de desempenho voltado a ampliar a presença territorial, aprimorar a comunicação institucional e fortalecer processos internos, demonstrando que estratégias estruturadas e orientadas por dados podem apoiar a consolidação da empresa no competitivo mercado de Paranaguá.

Palavras-chave: 5W2H; Estratégia competitiva; Análise SWOT; Plano de ação.

MARKET MANAGEMENT AND POSITIONING FOR EXPANDING CIVIL ENGINEERING COMPANIES: A STUDY ON OPERATIONS IN PARANAGUÁ

Abstract: A successful entry into new markets requires companies to adopt strategies that enhance visibility, credibility, and a stable reputation, in addition to technical competence. In this context, this study analyzed the challenges and expansion strategies of an engineering company entering the city of Paranaguá (PR), using an exploratory–descriptive approach that combined a questionnaire applied to professionals from the industrial, port, railway, and infrastructure sectors with a focus group conducted with the company's managers. The integrated analysis of the SWOT framework, the 5W2H method, and the effort–impact matrix revealed weaknesses such as low institutional visibility, a reduced organizational structure, and developing commercial processes, as well as opportunities related to port expansion, growing demand for specialized engineering services, and the strengthening of local strategic networks. Based on this diagnosis, an action plan with performance indicators was developed to expand territorial presence, improve institutional communication, and strengthen internal processes, demonstrating that structured, data-driven strategies can support the company's consolidation in Paranaguá's competitive market,

Keywords: 5W2H; Competitive Strategy; SWOT Analysis; Action Plan.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico do Brasil, uma vez que planeja e executa projetos que formam a base da infraestrutura urbana, industrial e logística do país. Em 2023, o setor representou 5,8% do PIB e movimentou aproximadamente R\$ 359,5 bilhões, o que demonstra sua importância na criação de empregos, no dinamismo econômico e na modernização das cidades (CBIC, 2024). Segundo Bitencourt (2015), esta é uma atividade que envolve um alto nível de complexidade técnica e requer planejamento rigoroso, integração de processos e capacidade de adaptação às mudanças tecnológicas que moldam a competitividade no setor.

Ainda assim, a consolidação de empresas em novos mercados vai além da competência técnica. Estudos clássicos e contemporâneos de estratégia organizacional indicam que elementos subjetivos, como reputação, credibilidade e relações de confiança, desempenham um papel crucial no acesso a oportunidades e na formação de vantagem competitiva, especialmente em setores com alta demanda por serviços e conhecimento. Suchman (1995), Mintzberg (2010) e Barney (1991) destacam que, em ambientes onde as redes locais influenciam contratações e parcerias, as empresas recém-chegadas tendem a enfrentar barreiras institucionais significativas até conquistarem aceitação e reconhecimento. Esse desafio torna-se ainda mais difícil em territórios altamente especializados, como Paranaguá, que abriga um dos maiores portos da América Latina e apresenta elevado grau de regulação, requisitos normativos rigorosos e relações consolidadas entre agentes econômicos, conforme aponta a ANTAQ (2023).

Dados do IBGE (2023) indicam que o município possui um PIB de aproximadamente R\$ 13,6 bilhões, diretamente associado à atividade portuária e logística. Além disso, estudos de Notteboom e Rodrigue (2019), bem como de Porter (1998), evidenciam que arranjos logísticos dessa natureza são caracterizados por intensa competição e forte dependência de interações presenciais e redes de confiança construídas ao longo do tempo.

A inserção de novas empresas em regiões portuárias tende a ser condicionada por redes locais de poder, trajetórias históricas e mecanismos informais de decisão, o que dificulta o reconhecimento institucional de agentes externos sem histórico prévio na região (Monié; Vidal, 2021). A literatura sobre desenvolvimento territorial e governança regional aponta que a entrada em mercados altamente especializados exige estratégias graduais de aproximação, compreensão do território e envolvimento com os principais atores, a fim de construir credibilidade e reduzir incertezas. Vázquez-Barquero (2002), bem como Pecqueur e Zimmermann (2004), argumenta que processos de desenvolvimento territorial dependem da articulação entre atores locais, recursos específicos e dinâmicas produtivas próprias de cada região. De forma complementar, DiMaggio e Powell (1991) destacam que, em contextos altamente institucionalizados, organizações tendem a enfrentar pressões normativas e obrigatórias, o que afeta diretamente sua capacidade de inserção e legitimação.

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho consistiu em compreender os fatores internos e externos que influenciam a inserção territorial de uma empresa de engenharia recém-chegada ao litoral do Paraná, identificando como ela pode fortalecer sua visibilidade, credibilidade e posicionamento competitivo em um mercado portuário-industrial altamente

consolidado. Para este efeito, foram definidos os seguintes objetivos específicos: i) examinar o contexto organizacional da empresa estudada; ii) identificar as barreiras institucionais, concorrenciais e relacionais presentes no ambiente portuário-industrial de Paranaguá; iii) mapear as oportunidades estratégicas associadas à dinâmica econômica, às redes locais e às exigências técnicas; e iv) propor ações estruturadas que apoiem o reforço da visibilidade, da credibilidade e do posicionamento competitivo da organização na região.

O estudo está organizado em seis seções. A primeira apresenta a contextualização do tema, o problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa do trabalho, bem como a relevância teórica e prática da pesquisa. Do ponto de vista teórico, o estudo contribui para a ampliação das discussões sobre gestão, posicionamento de mercado e estratégias de inserção territorial de empresas de engenharia. Sob a perspectiva prática, os resultados oferecem subsídios para a tomada de decisão de gestores envolvidos em processos de expansão empresarial em contextos portuário-industriais. Ainda nessa seção, o trabalho é enquadrado nas áreas da Engenharia de Produção definidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), com ênfase na Engenharia Organizacional e na Engenharia. A segunda seção apresenta o referencial teórico que fundamenta a análise. A terceira descreve a metodologia adotada. Na quarta seção, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Por fim, a quinta seção reúne as considerações finais e a sexta apresenta as referências utilizadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O SETOR DE ENGENHARIA CIVIL E SUA RELEVÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL

O setor de engenharia civil e construção civil representa uma importante fatia da economia brasileira, tanto em termos de produção quanto de emprego formal. Em 2024, a construção civil gerou um Produto Interno Bruto (PIB) de aproximadamente R\$ 359,5 bilhões, representando cerca de 4,3% do PIB total do país segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e projeções da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) com expectativa de continuidade do crescimento em 2025. Nesse mesmo período, o setor ultrapassou a marca de 3 milhões de empregos formais com carteira assinada, com a criação de cerca de 98,7 mil novas vagas no acumulado do ano, consolidando-se como um dos

principais geradores de trabalho no mercado formal brasileiro. O setor também respondeu por quase 15% dos novos empregos criados no país em julho de 2025, demonstrando sua capacidade de absorção de mão de obra mesmo em contextos econômicos desafiadores. Esses números evidenciam a relevância econômica direta da engenharia civil, tanto pela participação significativa no PIB quanto pela contribuição substancial à geração de empregos e ao dinamismo do mercado de trabalho formal no Brasil.

Além de seu impacto econômico, a engenharia civil desempenha papel estratégico no desenvolvimento territorial, atuando diretamente na implantação de infraestrutura urbana, industrial e de transporte, elementos essenciais para a competitividade regional e a integração das cadeias produtivas. A literatura destaca que a inserção e a permanência de empresas de engenharia em novos mercados dependem não apenas da capacidade técnica, mas também da construção de visibilidade, credibilidade institucional e reputação organizacional, especialmente em ambientes competitivos e regulados (Bittencourt, 2015; Porter, 1998).

Esse contexto torna-se ainda mais evidente em regiões portuárias e industriais, onde a expansão das atividades logísticas e dos terminais públicos e privados amplia a demanda por serviços especializados de engenharia civil. No Brasil, os investimentos recentes em infraestrutura portuária têm criado oportunidades para novas empresas do setor, ao mesmo tempo em que elevam o nível de exigência técnica, regulatória e organizacional para os novos entrantes (ANTAQ, 2023).

Em polos portuários, como o de Paranaguá (PR), empresas recém-chegadas enfrentam desafios adicionais relacionados à ausência de histórico local, à dependência de redes institucionais consolidadas e à complexidade dos processos decisórios, fatores que tendem a favorecer organizações já estabelecidas. Assim, estudos apontam que a consolidação de empresas de engenharia em novos territórios exige alinhamento às especificidades locais, compreensão das dinâmicas institucionais e capacidade de inserção em redes estratégicas regionais, sob pena de limitar o reconhecimento institucional e o acesso a oportunidades de mercado (Monié; Vidal, 2021; CBIC, 2023).

2.2. ANÁLISE SWOT

A análise swot é uma ferramenta clássica de análise estratégica que permite compreender de forma integrada o ambiente interno e externo de uma organização. de acordo com Andrews (1971), ela se destaca por oferecer uma estrutura simples e eficiente para

identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, fornecendo uma visão clara da posição competitiva da empresa. Chiavenato (2014) reforça que essa ferramenta é especialmente útil em contextos dinâmicos e competitivos, pois possibilita decisões mais fundamentadas e alinhadas às exigências do mercado.

No setor de engenharia civil, a aplicação da SWOT envolve aspectos que vão além da competência técnica, incluindo reputação, capacidade de mobilização, logística de equipamentos, cumprimento de prazos e relacionamento com clientes institucionais. Autores como Horta et al. Camanho e Moreira (2020) destacam que fatores imateriais, como credibilidade e articulação regional, exercem influência significativa sobre o desempenho de empresas de infraestrutura. No eixo externo, políticas públicas, editais, concorrência, demandas territoriais e redes institucionais configuram oportunidades e ameaças que podem expandir ou limitar a inserção territorial das organizações, especialmente em ambientes portuários especializados como o de Paranaguá.

2.3. FERRAMENTA 5W2H NA GESTÃO DE AÇÕES ESTRATÉGICAS

A ferramenta 5W2H é conhecida pela sua habilidade em converter análises em planos de ação que são claros, objetivos e passíveis de medição. Fundamentada em sete perguntas principais o que será realizado, o motivo, a localização, o prazo, o responsável, o método e o custo, ela auxilia na estruturação das tarefas e na especificação minuciosa das atribuições (Campos, 2004; Paladini, 2012). A sua facilidade de utilização possibilita a sua vasta aplicação em projetos de engenharia, administração de processos e otimização constante.

No canteiro de obras o emprego do 5W2H ganha importância devido à complexidade dos projetos, que envolvem múltiplas equipes, diversos fornecedores, logística de materiais e prazos apertados. Ferramentas como o 5W2H auxiliam na redução de erros comunicativos, na prevenção de reações desnecessárias e na construção de consenso entre os participantes (Formoso et al., 2021; Tzortzopoulos; Li, 2021). Como apontam Deming (1990) e Juran e Godfrey (1999), metodologias de organização de atividades são essenciais para otimizar a coordenação e a eficácia operacional em ambientes que exigem alta expertise técnica.

Neste estudo, o 5W2H funciona como desdobramento direto da análise SWOT, permitindo transformar forças, fraquezas, oportunidades e riscos em planos de ação. A ferramenta atua como elo entre diagnóstico e execução, assegurando responsabilidades definidas, cronogramas adequados e padrões de monitoramento. Assim, o 5W2H contribui para

fortalecer a posição territorial da empresa por meio de projetos alinhados ao cenário competitivo de Paranaguá.

2.4. MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO

A matriz esforço \times impacto é uma ferramenta muito usada para ajudar a priorizar iniciativas em ambientes organizacionais que têm restrições de tempo, recursos e capacidade operacional. Ela ajuda a classificar ações com base em dois critérios principais: o esforço necessário para fazê-las e o impacto esperado no desempenho da empresa, esse modelo ajuda a visualizar de forma clara como as iniciativas são distribuídas entre os quadrantes de prioridade, facilitando o entendimento das escolhas envolvidas. Estudos contemporâneos em gestão de projetos indicam que ferramentas de priorização gráfica, como a matriz esforço \times impacto, contribuem para tornar o processo decisório mais estruturado, transparente e menos dependente de julgamentos intuitivos, especialmente em ambientes organizacionais complexos e sujeitos a restrições de recursos (ANDRADE; TOLFO, 2018; COOPER; EDGETT; KLEINSCHMIDT, 2001). Usar esse tipo de ferramenta ajuda a identificar vitórias rápidas e iniciativas de alto impacto e baixo esforço que podem gerar resultados rápidos e impulsionar a estratégia organizacional.

Do ponto de vista operacional, a matriz esforço \times impacto se conecta diretamente com metodologias multicritério de tomada de decisão, cada vez mais utilizadas em engenharia, gestão e logística. Zhu et al. (2024) mostra que combinar matrizes de priorização com lógica fuzzy melhora a classificação de alternativas em projetos de construção modular, evidenciando que ferramentas visuais seguem relevantes mesmo quando associadas a modelos analíticos mais complexos.

Neste estudo, a matriz esforço \times impacto complementa o método 5W2H ao organizar as ações conforme sua viabilidade e potencial estratégico. Em um ambiente portuário e logístico competitivo como o de Paranaguá, caracterizado por forte regulação, elevados requisitos técnicos e integração entre modais, a priorização clara de iniciativas torna-se essencial para otimizar recursos e acelerar a consolidação territorial da empresa. O setor da engenharia civil apresentou crescimento de 4,3% em 2024, contribuindo com aproximadamente R\$ 359 bilhões ao PIB brasileiro, enquanto a engenharia ferroviária tem sido impulsionada pelo aumento dos investimentos em infraestrutura de transporte, com destaque para concessões e ampliação da malha ferroviária nacional, que superaram R\$ 14 bilhões em investimentos anuais recentes,

segundo dados oficiais. Esse cenário reforça a necessidade de direcionar esforços para ações de maior retorno estratégico, assegurando uma execução racional do plano de ação e fortalecendo a capacidade organizacional de construir reputação, ampliar visibilidade e atender às demandas técnicas dos setores civil, ferroviário e portuário (CBIC, 2025; ANTT, 2024).

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO E ABORDAGEM DA PESQUISA

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de caso de natureza exploratória–descritiva, aplicado a uma empresa de engenharia ferroviária e civil fundada em 2023 e sediada em Maringá (PR), atualmente em expansão para Paranaguá. Trata-se de um ambiente portuário–industrial competitivo, mas também marcado por oportunidades de crescimento para empresas do setor, diante da expansão logística regional e da demanda contínua por soluções técnicas qualificadas. Nesse contexto, o estudo buscou compreender como a organização estrutura sua estratégia de inserção territorial, identificar barreiras e oportunidades de mercado e propor soluções para seu posicionamento competitivo no litoral paranaense.

Metodologicamente, adotou-se uma abordagem mista, integrando técnicas quantitativas e qualitativas. O caráter exploratório e descritivo justifica-se pela escassez de pesquisas sobre a inserção territorial de empresas de engenharia iniciantes em mercados especializados como o de Paranaguá, onde reputação, credibilidade, redes locais e articulação institucional condicionam a competitividade. Assim, o estudo busca preencher lacunas teóricas e oferecer contribuições aplicáveis ao setor ao analisar elementos estratégicos, territoriais e operacionais envolvidos no processo de expansão. Como apresentado na Figura 1, a estrutura metodológica integrou essas dimensões articulando objetivos, métodos e instrumentos de coleta de dados.

Figura 1: Fluxograma das etapas



Nota: Elaborado pela autora

A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário estruturado, elaborado pelos autores e aplicado aos participantes da pesquisa (Apêndice A) e um grupo focal. O questionário, aplicado presencialmente via Google Forms, continha 15 questões de múltipla escolha direcionadas a profissionais dos setores industrial, portuário, ferroviário e de infraestrutura, permitindo avaliar reconhecimento da marca e critérios de contratação. Com base em uma população de 60 empresas correspondente a uma lista previamente elaborada pela própria empresa, composta por organizações com potencial estratégico e interesse em futuras parcerias comerciais, considerando um nível de confiança de 95% e erro amostral de 5%, estimou-se a necessidade de 52 respostas. Ao final do processo de coleta, foram obtidos 54 questionários válidos, atendendo aos critérios estatísticos definidos para a pesquisa. O grupo focal reuniu cinco gestores da empresa durante três horas, envolvendo diretoria, área técnica e setor comercial, e suas contribuições foram categorizadas para compor a análise SWOT do estudo.

3.2. PROCEDIMENTO DE LEVANTAMENTO DOS ELEMENTOS DA ANÁLISE SWOT

Durante a aplicação do grupo focal, foi realizada a elaboração da Matriz SWOT, cuja construção ocorreu em duas etapas. A primeira consistiu na identificação dos fatores internos (forças e fraquezas), definidos pelos próprios participantes a partir da percepção coletiva sobre as atividades da empresa, seus recursos, competências, rotinas e limitações do dia a dia. Na segunda etapa, foram mapeados os fatores externos (oportunidades e ameaças), considerando aspectos específicos do território, como o mercado local, o ambiente portuário-industrial, as exigências regulatórias e as relações institucionais, além das desvantagens enfrentadas pela empresa no cenário competitivo. Esse processo permitiu construir uma análise coerente com a realidade regional e fundamentada na experiência prática dos gestores.

Foram definidos fatores internos e os fatores externos com base no desempenho atual da empresa, considerando os aspectos que mais influenciam suas operações e sua atuação no mercado regional. As informações foram sistematizadas em uma matriz de quatro quadrantes correspondentes às dimensões de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. A interpretação dos dados foi orientada por perguntas norteadoras amplamente utilizadas na literatura de análise estratégica, favorecendo um cruzamento consistente entre os fatores identificados e o contexto competitivo da região. As perguntas norteadoras foram:

- i) Como as forças internas podem potencializar as oportunidades existentes?

- ii) De que maneira podem mitigar ameaças externas?
- iii) Como as fraquezas internas limitam o aproveitamento de oportunidades?
- iv) Quais fragilidades podem intensificar ameaças do ambiente competitivo?

3.3. ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE AÇÃO COM O MÉTODO 5W2H

Com base no diagnóstico integrado obtido a partir da análise SWOT, foram estruturados planos de ação por meio do método 5W2H (What, Why, Who, Where, When, How, How Much), elaborados de forma colaborativa durante o grupo focal com os gestores da empresa. Cada ação foi detalhada com a definição de sua finalidade, responsáveis, local de execução, cronograma, forma de implementação e custos estimados, garantindo alinhamento entre o diagnóstico estratégico e as percepções práticas dos participantes envolvidos no processo decisório. O plano de ação foi validado com o proprietário da empresa, garantindo que as propostas estivessem alinhadas à realidade operacional e às prioridades internas. Para organizar os prazos de execução das ações, considerou-se posteriormente o resultado da priorização obtida pela matriz esforço × impacto, de modo que os cronogramas definidos no plano 5W2H fossem condizentes com o nível de prioridade, impacto esperado e esforço necessário de cada iniciativa, os responsáveis e todas as informações necessárias, utilizou-se uma planilha no Excel, que serviu como ferramenta de registro e estruturação das etapas do plano. O objetivo foi transformar dados estratégicos em medidas práticas, claras e alinhadas ao processo de expansão territorial da empresa.

Além disso, o detalhamento das etapas e a organização sistemática das ações possibilitaram à empresa estabelecer um controle contínuo de suas práticas internas, fazendo ajustes quando necessário e a correção de erros ao longo da implementação. O acompanhamento estruturado também ampliou a capacidade de mensurar resultados, identificar gargalos e reconhecer avanços.

O método 5W2H foi selecionado por funcionar como ponte direta entre diagnóstico e ação. Ele operacionaliza a interpretação da SWOT, garantindo que nenhuma medida seja aleatória: todas resultam de evidências empíricas e análise integrada. Sendo assim, o 5W2H representa a transição estruturada entre compreender o problema e intervir sobre ele.

3.4. PRIORIZAÇÃO DAS AÇÕES PELA MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO

Após a elaboração dos planos de ação, aplicou-se a Matriz Esforço × Impacto para estabelecer a ordem de implementação das iniciativas. Todas as ações desenvolvidas no 5W2H

foram classificadas em níveis de prioridade de P0 a P3, sendo P0 a prioridade máxima e P3 a prioridade mínima. Foram organizadas em planilha e analisadas conforme os critérios estabelecidos na matriz esforço × impacto, considerando o potencial de contribuição de impacto de cada atividade e o nível de esforço requerido para sua execução.

Esse mapeamento permitiu classificá-las em quatro quadrantes:

- i) alto impacto e baixo esforço (prioridade imediata), P0
- ii) alto impacto e alto esforço (estratégicas de médio prazo), P1
- iii) baixo impacto e baixo esforço (complementares), P2
- iv) alto esforço e baixo impacto (não prioritárias). P3

Essa etapa de priorização representa um elemento fundamental do estudo, pois estabelece critérios racionais para organizar as ações de forma estratégica. Ao definir quais iniciativas possuem maior potencial de contribuição em relação ao esforço necessário, a matriz esforço × impacto agrega valor ao permitir uma visão clara de onde concentrar recursos, reduzir dispersões e orientar decisões futuras. Essa sistematização fortalece o vínculo entre diagnóstico e planejamento, contribuindo para a construção de um modelo de implementação mais eficiente e alinhado às necessidades reais da empresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PERCEPÇÃO EXTERNA DA EMPRESA

A análise das respostas do questionário aplicado aos profissionais dos setores de construção civil, infraestrutura, operações portuárias, terminais e indústria permite compreender como o mercado regional percebe a empresa. A amostra foi composta por 54 participantes, com idade média de 28 anos e variação entre 19 e 50 anos, o que indica um grupo predominantemente jovem, mas com diversidade etária suficiente para captar percepções distintas. No que se refere ao gênero, observou-se equilíbrio entre mulheres (51,9%) e homens (48,1%), contribuindo para uma representação heterogênea das visões existentes no mercado local.

Embora não se trate de uma amostra probabilística, a seleção por conveniência é adequada ao propósito do estudo, uma vez que os respondentes representam precisamente o público-alvo que a empresa busca compreender: profissionais atuantes nos setores industrial,

portuário, ferroviário e de infraestrutura de Paranaguá. Assim, em vez de limitar o estudo, a amostra contribui para captar percepções alinhadas ao contexto real de atuação da empresa, acompanhando recomendações recentes sobre pesquisas aplicadas em ecossistemas produtivos especializados (Shen et al., 2024).

A partir dessa caracterização da amostra, os dados mostram como esse público percebe a presença da empresa de engenharia no mercado de Paranaguá, observa-se que a empresa ainda possui baixo nível de reconhecimento na região, embora seja avaliada de forma positiva por aqueles que já tiveram algum contato com sua atuação. Isso indica que a principal limitação não reside na competência técnica, mas sim na falta de presença institucional, especialmente no que se refere à comunicação estratégica e ao relacionamento com os parceiros locais, como ressaltam estudos recentes sobre reputação e credibilidade organizacional (Nuortimo, 2024; Yi, 2023).

O ponto mais percebido é o baixo reconhecimento espontâneo da marca, que representou 63,6% dos participantes que afirmaram nunca ter ouvido falar da empresa, enquanto 23,6% relataram já ter ouvido falar, mas sem conhecer sua atuação. Apenas 9,1% disseram saber aproximadamente o que a empresa faz, e somente 3,6% afirmaram conhecer bem seus serviços. Esses números reforçam a importância de estratégias mais consistentes de divulgação institucional e aproximação com stakeholders da região, visto que a marca ainda não está consolidada entre os profissionais que atuam nos setores estratégicos de Paranaguá fenômeno também observado por pesquisas contemporâneas sobre reputação corporativa emergente (Galdón-Salvador et al., 2024; Bigus, 2024), que Refere-se a novos aspectos ou dinâmicas que estão moldando a imagem e credibilidade das empresas, em um cenário em constante mudança, como o impacto de tecnologias emergentes, novas formas de comunicação, sustentabilidade, ou ética empresarial. Isso pode envolver uma análise da evolução da imagem das empresas em tempos modernos, influenciada por novos fatores sociais, culturais e econômicos.

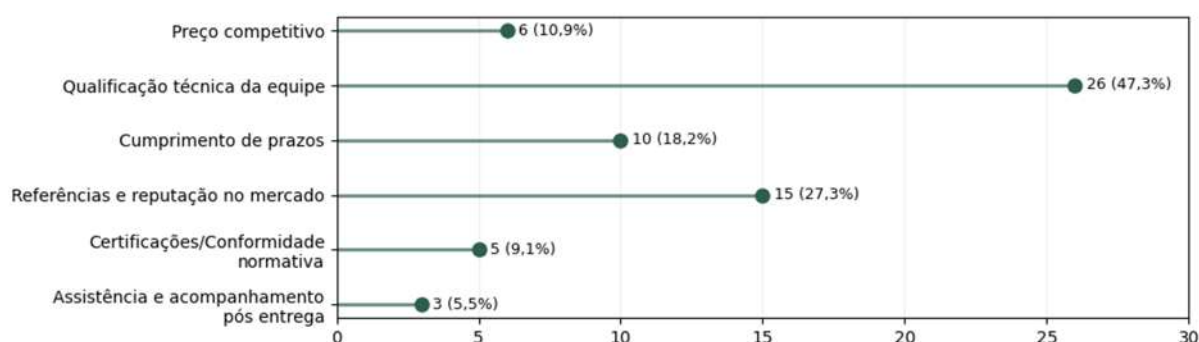
Segundo Porter (2009) e Mintzberg, Quinn e Ghoshal (2017), em mercados portuários, a credibilidade costuma ser construída ao longo do tempo e depende da convivência contínua entre empresas e contratantes, ainda mais em ambientes altamente especializados, como o de Paranaguá. Entretanto, os dados também mostram que, entre os poucos respondentes que já tiveram algum contato com a empresa, a avaliação tende a ser positiva: 16,4% classificaram a imagem institucional como positiva e 18,2% atribuíram alta credibilidade. Ressalta-se que o

questionário foi estruturado em duas etapas: a primeira contemplou questões de reconhecimento e percepção da empresa, incluindo a opção “não consigo opinar” para os respondentes que nunca haviam tido contato ou ouvido falar da organização; já a segunda etapa concentrou-se na identificação dos fatores considerados necessários para a consolidação e atuação de uma nova empresa em Paranaguá, segundo a percepção dos participantes.

Os resultados também mostram os critérios utilizados pelos profissionais ao contratar uma empresa de engenharia. A qualificação técnica aparece como o principal fator (47,3%), seguida pelo cumprimento de prazos (18,2%) e pela reputação institucional (27,3%). Conforme Chiavenato (2014) e Slack et al. (2022), mercados competitivos valorizam competência técnica aliada à confiabilidade e à capacidade de entrega, exatamente o padrão encontrado nesta pesquisa. Estudos atuais sobre ecossistemas tecnológicos reforçam esse ponto, ao indicarem que a competitividade depende de recursos valiosos e difíceis de imitar (Shen et al., 2024).

No entanto, há variações importantes. A predominância da qualificação técnica pode estar associada ao perfil jovem da amostra, menos influenciado por relações históricas com fornecedores tradicionais. Em ambientes portuários altamente institucionalizados, como afirmam Monios e Wilmsmeier (2021), redes de confiança estabelecidas frequentemente têm peso maior do que os respondentes declaram. Assim, é possível que os dados reflitam um discurso idealizado, e não necessariamente os critérios reais de contratação, tendência também identificada por estudos recentes de reputação corporativa em setores técnicos (Bigus, 2024). Como apresentado no Figura 2, essa diferença entre o discurso e as práticas efetivas de contratação reforça a necessidade de uma análise crítica sobre o que o mercado afirma valorizar e o que de fato mobiliza decisões nas relações comerciais locais.

Figura 2 – Critérios de seleção

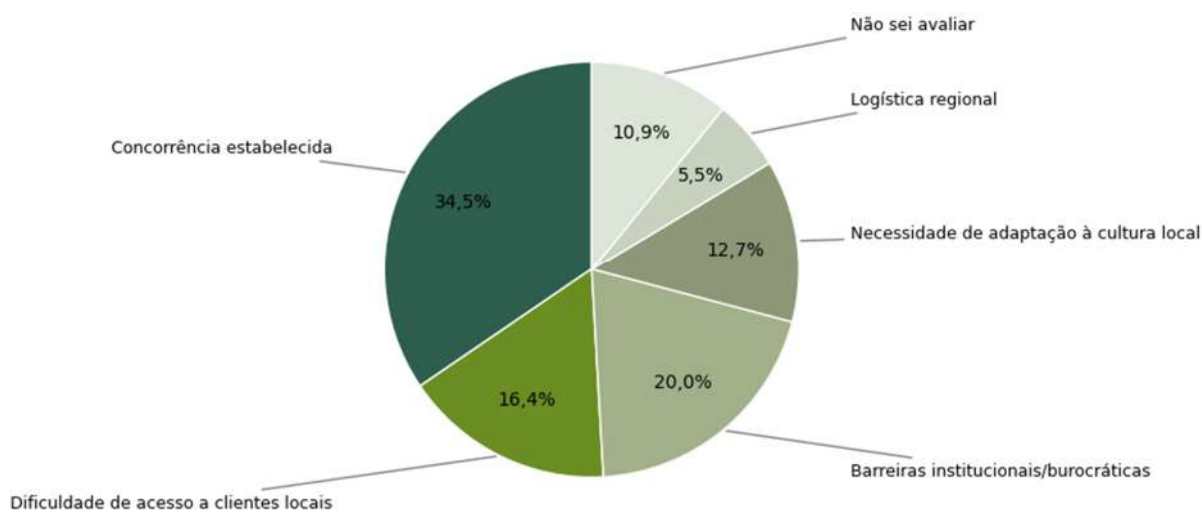


Nota: Elaborado pela autora

Contudo, embora a qualificação técnica apareça como principal critério, confiança, reputação e relações prévias seguem influenciando fortemente as contratações em contextos portuários. Assim, a competitividade das empresas depende não só da capacidade técnica, mas também da construção de credibilidade e da inserção nas redes locais, fatores decisivos para consolidar presença no mercado de Paranaguá.

Os participantes identificaram três principais barreiras para a entrada e consolidação de novas empresas em Paranaguá: concorrência já estabelecida (34,5%), burocracia local (20%) e dificuldade de acesso a novos clientes (16,4%). Esse conjunto evidencia um mercado historicamente fechado, marcado por relações consolidadas e forte dependência de interações institucionais. Conforme ilustrado no Figura 3, a predominância dessas barreiras revela que a competitividade local não se restringe à capacidade técnica das empresas, mas envolve também fatores estruturais e relacionais que impactam diretamente a inserção territorial de novos atores.

Figura 3 – Barreiras



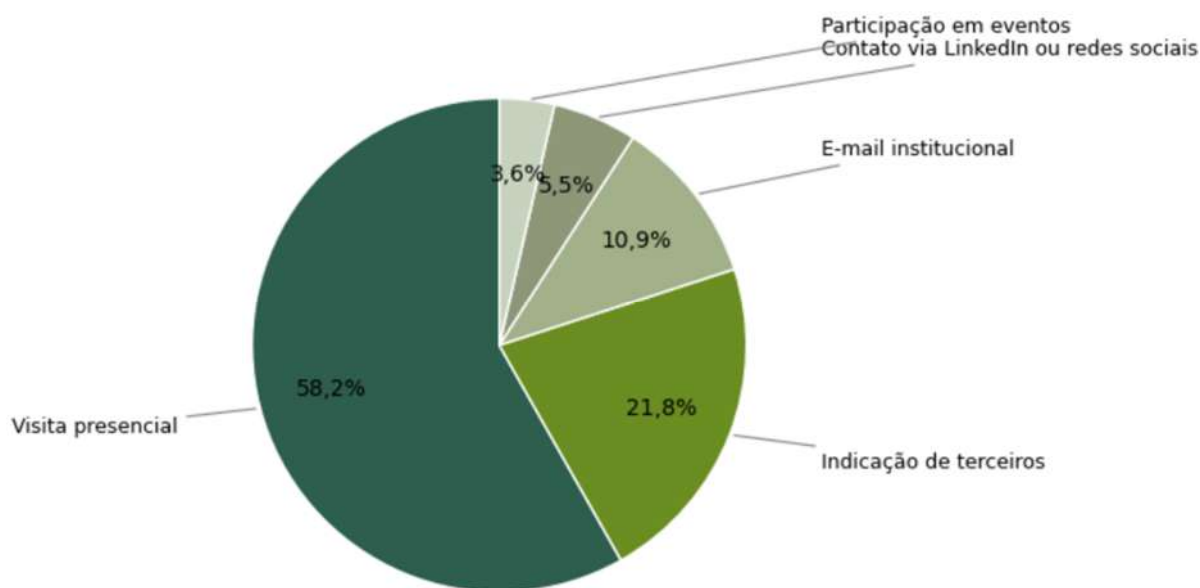
Nota: Elaborado pela autora

Essas características são consistentes com Fleury (2019) e Rodrigues (2020), que descrevem ambientes portuários como ecossistemas organizacionais de alta especialização e forte enraizamento de redes locais. A presença relevante da burocracia como barreira sugere, ainda, um ambiente institucional mais rígido do que o observado em outros portos analisados na literatura. Estudos internacionais, como o de Ametepey et al. (2022), confirmam que pequenas e médias empresas de engenharia enfrentam desafios semelhantes em outros países, incluindo competição com empresas consolidadas e exigências regulatórias elevadas, indicando que os resultados locais dialogam com tendências globais. Além disso, estudos recentes

reforçam que ambientes altamente regulados exigem maior capacidade de articulação institucional e estratégias graduais de reputação (Nuortimo, 2024).

A pesquisa também investigou as preferências de contato dos profissionais da região. A maioria dos respondentes destacou preferência pelo contato presencial (58,2%) e por indicações de terceiros (21,8%), confirmando um padrão típico de mercados portuários consolidados, onde confiança interpessoal e proximidade física permanecem decisivas. Esse achado é coerente com Santos e Becker (2018), que argumentam que a inserção territorial exige participação ativa em eventos, fóruns técnicos e espaços de interação profissional, reforçando a importância do networking presencial para a construção de confiabilidade. Como apresentado no Figura 4, a predominância do contato presencial evidencia que estratégias puramente digitais ou distantes têm menor eficácia nesse contexto, exigindo presença contínua e relacionamentos estruturados.

Figura 4 – Preferência de contato



Nota: Elaborado pela autora

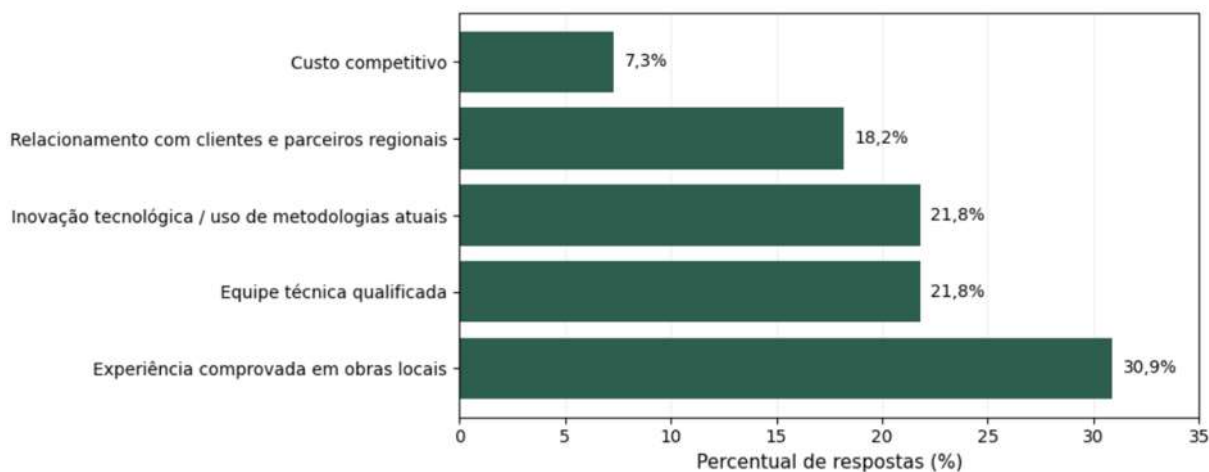
A literatura brasileira, como Carvalho e Murback (2014), destaca que redes de confiança se fortalecem por meio de interações frequentes e comunicação transparente, especialmente em contextos presenciais. Ainda assim, estudos nacionais apontam que essas relações podem ser ampliadas quando apoiadas por uma presença digital estratégica.

Nesse sentido, embora o levantamento tenha revelado uma predominância do contato presencial em Paranaguá, observa-se um movimento crescente de valorização das redes

profissionais digitais, especialmente no LinkedIn, para acesso a informações, validação técnica e visibilidade institucional. O cenário encontrado indica, portanto, um modelo misto: práticas tradicionais continuam fortes, mas começam a coexistir com estratégias digitais, que ampliam alcance, reforçam reputação e se alinham à transformação digital do setor de engenharia.

Quando questionados sobre os fatores que tornam uma empresa de engenharia mais competitiva na região, os respondentes destacaram inovação tecnológica (21,8%), experiência local (30,9%), relacionamento regional (18,2%) e qualificação da equipe (21,8%), indicando que o mercado valoriza a combinação entre competência técnica e inserção territorial. Esses resultados convergem com a teoria de Porter (2008), que aponta a diferenciação técnica como elemento central da vantagem competitiva, e com a Visão Baseada em Recursos de Barney (1991), segundo a qual recursos valiosos, raros como equipe qualificada e domínio tecnológico sustentam o desempenho superior das organizações. Conforme ilustrado no Figura 5, essa distribuição mostra que a competitividade local depende simultaneamente de atributos técnicos e de fatores relacionais construídos no território.

Figura 5 – Fatores competitivos



Nota: elaborado pela autora

Apesar disso, é necessário reconhecer que os fatores apontados refletem percepções declaradas, e não necessariamente decisões reais de contratação. Como destacam Horta, Camanho e Moreira (2020), em situações práticas de compra, elementos como preço, disponibilidade imediata e histórico de relacionamento geralmente têm peso maior do que o informado em pesquisas de opinião, o que demonstra a complexidade decisória no setor de engenharia.

Diante desse diagnóstico obtido por meio dos questionários, torna-se essencial compreender o ambiente interno da empresa para identificar quais capacidades podem impulsionar sua inserção territorial e quais fatores externos representam riscos ou oportunidades estratégicas. Nesse sentido, procedeu-se à aplicação de ferramentas analíticas voltadas à compreensão integrada desse cenário competitivo. Ferramentas de gestão estratégica, como a análise swot, para conhecer o ambiente interno e classificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que afetam diretamente o posicionamento competitivo da empresa no contexto de Paranaguá. Portanto, a partir dessa análise, foi possível direcionar ações de forma mais precisa, coerente e alinhada às exigências do ambiente regional estudado.

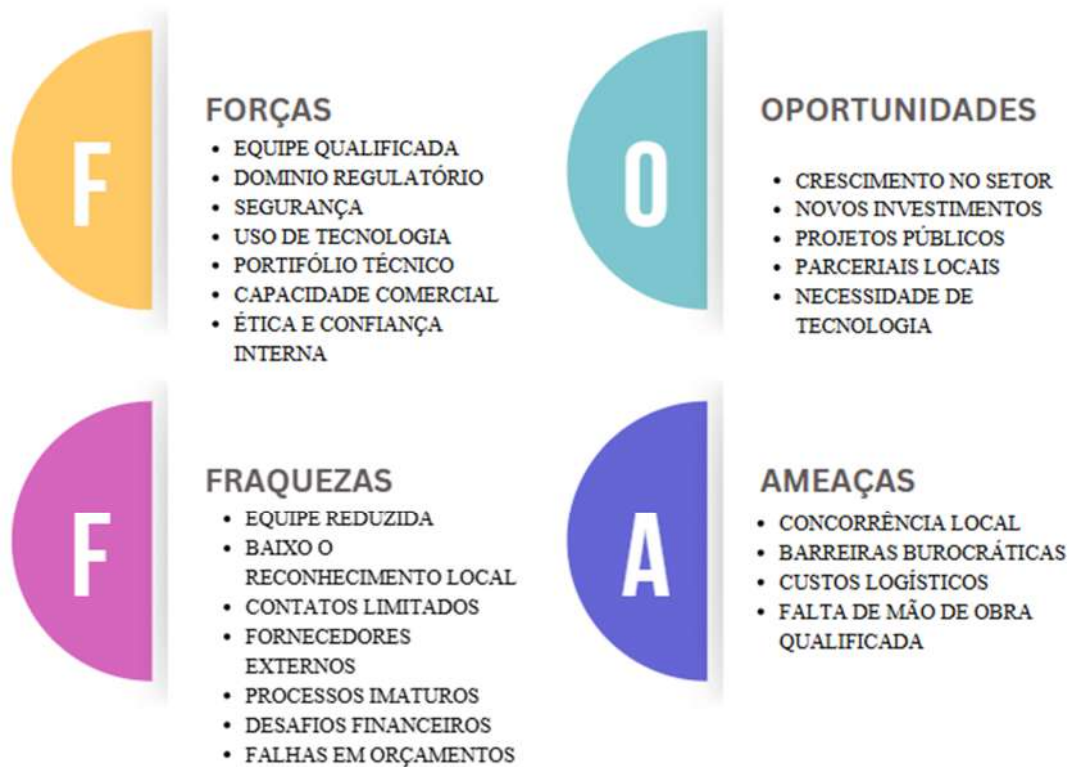
4.2. APLICAÇÃO DA ANÁLISE SWOT

A análise integrada combinou dados do questionário e informações da SWOT, iniciada a partir das percepções levantadas no grupo focal, o que permitiu uma compreensão geral da posição da empresa em Paranaguá. As forças internas, como qualificação técnica e uso de tecnologia, mostram grande potencial para aproveitar oportunidades decorrentes da expansão portuária, novos investimentos e demandas ESG, além de contribuir para diminuir ameaças associadas à concorrência.

Por outro lado, fraquezas como baixa visibilidade institucional, estrutura reduzida e desvantagem comercial limitam o acesso da empresa a novos contratos e parcerias estratégicas, intensificando riscos externos em um ambiente portuário onde credibilidade e relações institucionais são determinantes. Reconhece-se também que a análise está condicionada a limitações metodológicas, incluindo coleta pontual de dados e instrumentos qualitativos aplicados em curto intervalo, fatores que podem gerar sobreposição de vieses, conforme apontam Creswell e Creswell (2020).

Entre as principais forças destacam-se a qualificação da equipe, o domínio técnico, o uso de tecnologias atualizadas, o portfólio especializado e a capacidade de adaptação na Figura 6. Esses fatores constituem recursos estratégicos valiosos e raros, conforme definido por Barney (1991), contribuindo para a construção de vantagem competitiva.

Figura 6 – Análise Swot



Nota: Elaborado pela autora

Em síntese, embora a empresa possua competências internas alinhadas às oportunidades externas, sua inserção territorial é limitada por fragilidades como equipe reduzida, baixa visibilidade e maturidade comercial insuficiente. Conforme destacam Mintzberg (2003) e Horta e Moreira (2012), competências técnicas não geram competitividade sem credibilidade e presença no território, sobretudo em mercados portuários altamente regulados e concorridos. Assim, o diagnóstico evidencia que fortalecer visibilidade, comunicação institucional e estrutura comercial é fundamental para transformar essas competências em vantagem competitiva.

4.3. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA 5W2H

A análise dos dados revela um cenário típico de empresas jovens em processo de expansão territorial: embora possuam competências técnicas reconhecidas por aqueles que já

tiveram contato com sua atuação, enfrentam dificuldades para consolidar sua presença no mercado em função da baixa visibilidade institucional. No caso estudado, 63% dos respondentes afirmaram nunca ter ouvido falar da empresa, e parcela significativa não consegue identificar claramente seus serviços, resultado coerente com o que Kotler, Kartajaya e Setiawan (2021) destacam no Marketing 5.0: em mercados B2B, especialmente nos setores portuário e industrial, a reputação e a percepção de valor antecedem qualquer intenção de contratação.

Diante desse diagnóstico, foi estruturado um plano de ação com foco no fortalecimento da visibilidade institucional da empresa, elaborado de forma colaborativa com o grupo focal e priorizado por meio da matriz esforço × impacto conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – 5W2H

O QUÊ?	POR QUÊ?	QUEM?	COMO?	QUANDO?	QUANTO?
Participar de fóruns locais vinculados ao setor portuário.	Para ampliar a inserção institucional da empresa no ambiente portuário.	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da participação em eventos e fóruns setoriais locais	Mensalmente	R\$ 300,00
Solicitar reuniões institucionais de apresentação da empresa.	Para fortalecer o reconhecimento da marca junto a potenciais parceiros.	Engenheiro de Produção 2 (EP2)	Por meio de contato formal para solicitação de reuniões institucionais	Sob demanda, conforme agenda dos parceiros	R\$ 100,00
Criar um calendário sistemático de visitas técnicas.	Para garantir regularidade e presença territorial no mercado local.	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da definição prévia de datas, responsáveis e objetivos das visitas	Mensalmente	R\$ 250,00

Nota: Elaborado pela autora

As demais ações estabelecidas no plano, bem como o detalhamento completo de objetivos, responsáveis, prazos, formas de execução e custos estimados, encontram-se apresentadas nos Apêndices 1, em formato de quadro sintético, optando-se pela disposição em página paisagem para melhor visualização das informações.

Outro achado relevante diz respeito ao peso das interações presenciais no processo de contratação. A maioria dos respondentes (57,4%) indica preferência por visitas presenciais como forma inicial de contato, reforçando o argumento de Grönroos (2020) de que a confiança construída face a face é decisiva em serviços cuja qualidade técnica não pode ser avaliada previamente. Esse ponto é ainda mais sensível em engenharia, setor caracterizado por risco percebido elevado. Lovelock e Wirtz (2022) complementam afirmando que serviços intensivos em conhecimento dependem fortemente da credibilidade e da prova social. Esses dados fundamentaram o plano de ação focado no fortalecimento do networking e das relações comerciais presenciais.

A pesquisa confirma que qualificação técnica e histórico de desempenho são os principais critérios de contratação, reforçando a visão de Slack et al. (2022) sobre a centralidade

da confiabilidade em serviços profissionais. Embora a análise SWOT indique forte competência técnica, essa força ainda não se traduz plenamente em reconhecimento de mercado, o que evidencia a necessidade de maior comunicação técnica e apresentação estruturada do portfólio. Internamente, fragilidades como equipe reduzida, baixa padronização e limitada visibilidade institucional precisam ser superadas para elevar a maturidade operacional da empresa. Conforme Chiavenato (2014), a ausência de padronização compromete a eficiência e a capacidade de resposta organizacional, tornando essenciais ações como a criação de Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), a adoção de sistemas de CRM e a capacitação contínua da equipe, conforme detalhado no Apêndice B.

A pesquisa também mostra que a inovação tecnológica aparece, para boa parte dos respondentes (28%), como um diferencial real. Isso conversa diretamente com o que já vem acontecendo no setor da construção: mais uso de BIM, mais metodologias enxutas e uma busca crescente por processos mais inteligentes.

No geral, os resultados indicam que a empresa tem espaço para competir, algo reconhecido por 60% dos profissionais consultados. O problema é que esse potencial ainda não virou presença firme no mercado. A baixa visibilidade, a falta de conexões estratégicas na região e uma comunicação que não deixa claros seus diferenciais acabam limitando esse avanço. Esses obstáculos são comuns em empresas que estão chegando agora, mas podem ser superados com ações bem planejadas de marketing institucional, construção de relacionamentos e ajustes internos exatamente o que o plano 5W2H propõe.

Quando juntamos as evidências empíricas com o que a literatura aponta, fica claro que o caminho mais eficiente envolve uma inserção territorial ativa. Isso significa estar presente, comunicar bem o que faz, fortalecer a reputação e construir legitimidade no ambiente local. Essa combinação cria as condições estratégicas necessárias para que a empresa se consolide em um dos contextos mais competitivos e regulados do país. Por fim, o plano de ação será organizado pela matriz esforço \times impacto, garantindo que as iniciativas mais relevantes e viáveis sejam priorizadas.

4.4. APLICAÇÃO DA MATRIZ ESFORÇO X IMPACTO

A matriz esforço \times impacto foi utilizada para organizar e priorizar as ações do plano 5W2H, classificando-as de P0 a P3, onde P0 representa máxima prioridade e P3 a menor. As ações P0 são aquelas de maior impacto e menor esforço, devendo ser executadas primeiro. As

demais categorias indicam níveis decrescentes de urgência e relevância. A Figura 8 apresenta essa distribuição, facilitando a visualização das iniciativas mais estratégicas para fortalecer a presença da empresa no curto prazo.

Figura 8 – Figura Esforço x Impacto

Nota: Elaborado pela autora

Durante a construção da matriz, cada ação foi avaliada quanto ao impacto e ao esforço,



usando critérios já discutidos previamente como fortalecimento institucional, ampliação de relacionamentos, tempo, custo e complexidade operacional. O grupo chegou ao consenso por meio de uma conversa aberta: cada participante apresentou sua percepção, explicou seus argumentos e ajustou seu ponto de vista até que todos concordassem com a posição final de cada ação.

Desse processo, ficaram claras algumas iniciativas que entregam muito e exigem pouco, como as visitas presenciais, o networking qualificado e a produção de conteúdo técnico. São ações que geram resultado rápido e demandam poucos recursos. Mesmo assim, é importante reconhecer que a matriz tem suas limitações. Parte das avaliações é subjetiva, depende da percepção de cada avaliador e pode mudar conforme o ambiente competitivo evolui. Por isso, a recomendação é revisá-la periodicamente e reorganizar sua apresentação de forma mais visual e fácil de interpretar, ajudando na tomada de decisão ao longo do tempo.

No fim, a aplicação da matriz esforço × impacto reforça o sentido estratégico do plano: priorizar aquilo que traz maior retorno e organizar com clareza o que exige mais tempo, recursos ou coordenação. A análise mostrou que ações de baixo esforço e alto impacto como visitas presenciais, networking e comunicação institucional mais forte precisam ser colocadas em prática primeiro. Já iniciativas mais complexas devem ser planejadas com cuidado e implementadas conforme a empresa amadurece. Além disso, o debate gerado durante a construção da matriz ajudou a alinhar expectativas entre os gestores e deixou evidentes as diferenças de percepção sobre esforço e benefício. Apesar das limitações, a ferramenta apoia decisões mais consistentes, favorece um uso mais inteligente dos recursos e orienta a consolidação da empresa dentro de um dos ambientes mais competitivos e regulados de Paranaguá.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa permitiu compreender os desafios e as oportunidades de inserção territorial de uma empresa de engenharia jovem em um ambiente portuário-industrial competitivo como o de Paranaguá, atendendo ao objetivo geral de analisar como a organização pode se posicionar, ganhar visibilidade e fortalecer sua atuação no território. Os resultados indicam que a principal limitação da empresa não está em sua capacidade técnica, mas na baixa visibilidade institucional, na ausência de histórico local e na necessidade de consolidar relações com atores estratégicos da região. Em contextos fortemente regulados e baseados em redes de confiança, a combinação entre competência técnica, presença territorial e construção de credibilidade mostra-se essencial para a consolidação de novas empresas.

Do ponto de vista prático, o estudo demonstra que a utilização integrada de instrumentos como questionário, grupo focal, análise SWOT, método 5W2H e matriz esforço × impacto pode apoiar de forma consistente a tomada de decisão gerencial em processos de expansão territorial, permitindo a priorização de ações, o uso mais racional de recursos e a definição de estratégias alinhadas ao contexto local. Dessa forma, a empresa passa a atuar de maneira menos intuitiva e mais orientada por evidências, fortalecendo sua estrutura interna e sua inserção institucional.

Como limitações do estudo, destacam-se o recorte restrito ao município de Paranaguá, o foco em uma única empresa e o caráter perceptivo dos dados coletados, que refletem a visão dos respondentes no momento da pesquisa. Além disso, a análise não contempla a avaliação dos resultados decorrentes da implementação das ações propostas, o que limita a mensuração

de seus impactos práticos. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos futuros que acompanhem a execução do plano de ação e promovam novas rodadas de coleta de dados, possibilitando avaliar a evolução da visibilidade institucional, das redes de relacionamento e da consolidação territorial da empresa ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

Ametepey, O., Annan, R., & Akotto, R. (2022). Barriers affecting the performance of small and medium-sized construction firms in developing economies. *Journal of Construction in Developing Countries*, 27(1), 87–104.

Andrade, R., & Tolfo, R. (2018). Ferramentas de priorização na gestão de processos organizacionais. *Revista de Administração Contemporânea*.

Andrews, K. R. (1971). *The Concept of Corporate Strategy*. Dow Jones-Irwin.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. (2023). *Anuário Estatístico Aquaviário*. ANTAQ.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. (2024). *Relatório anual de concessões ferroviárias*. ANTT.

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.

Bittencourt, H. (2015). *Engenharia Civil: princípios, práticas e gestão*. Érica.

Campos, V. F. (2004). *TQC: Controle da Qualidade Total (3a ed.)*. Fundação Christiano Ottoni.

Carvalho, J., & Murback, D. (2014). Gestão de relacionamentos e redes de confiança em ambientes industriais. *Revista Administração em Debate*.

Castells, M. (2018). *A sociedade em rede*. Paz e Terra.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2024). *Panorama da Construção Civil 2024*. CBIC.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2025). *Desempenho e emprego na construção civil brasileira*. CBIC.

Chiavenato, I. (2014). *Administração: teoria, processo e prática (4a ed.)*. Elsevier.

Corrêa, R. L. (2020). *Região e organização espacial*. Ática.

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. *R&D Management*, v. 31, n. 4, p. 361-380, 2001.

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2020). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage.
- Deming, W. E. (1990). *The New Economics for Industry, Government, Education*. MIT Press.
- DiMaggio, P., & Powell, W. (1991). *The new institutionalism in organizational analysis*. University of Chicago Press.
- Fleury, A. (2019). Institutional pressures and coordination challenges in port logistics chains. *Maritime Policy & Management*, 46(7), 878–895.
- Formoso, C. T., Isatto, E., & Kometo, T. (2017). The role of organizational learning in improving construction performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(8).
- Formoso, C. T., Tzortzopoulos, P., & Li, H. (2021). *Lean Construction: Princípios e aplicações*. ANTAC.
- Freeman, R. E. (2010). *Strategic Management: A stakeholder approach*. Cambridge University Press.
- Galdón-Salvador, J. L., & Marín Díaz, G. (2024). Enhancing business decision-making through a corporate reputation measurement model. *Sustainability*, 16(2), 523.
- GBC Brasil. (2023). *Relatório anual de sustentabilidade na construção*. GBC Brasil.
- Grönroos, C. (2020). *Service Management and Marketing* (5th ed.). Wiley.
- Harvey, D. (2020). *A produção capitalista do espaço*. Annablume.
- Horta, I., Camanho, A., & Moreira, A. (2020). Performance evaluation of construction companies using efficiency and competitiveness indicators. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(10), 2825–2844.
- IBGE. (2023). *Contas regionais do Brasil 2023*. IBGE.
- IDR-Paraná. (2024). *Perfil socioeconômico do litoral paranaense 2024*. IDR-PR.
- IPARDES. (2023). *Indicadores socioeconômicos de Paranaguá*. IPARDES.
- Juran, J., & Godfrey, A. (1999). *Juran's Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2021). *Marketing 5.0: Technology for humanity*. Wiley.
- Lefebvre, H. (2001). *O direito à cidade*. Centauro.
- Lima, A., & Mattos, P. (2022). *Lean na construção civil*. Pini.
- Lins, F., & Amaral, J. (2019). *Ferramentas da qualidade aplicadas à engenharia*. Elsevier.
- Lovelock, C., & Wirtz, J. (2022). *Services Marketing* (9th ed.). World Scientific.
- Mintzberg, H. (2003). *The Strategy Process* (4th ed.). Prentice Hall.
- Mintzberg, H. (2010). *Estrutura e dinâmica das organizações*. Bookman.
- Mintzberg, H., Quinn, J., & Ghoshal, S. (2017). *The Strategy Process* (6th ed.). Pearson.

- Monios, J., & Wilmsmeier, G. (2021). Deepening port–hinterland relationships: Path dependency and institutional factors. *Journal of Transport Geography*, 93.
- Morgan, D. L. (1997). *Focus Groups as Qualitative Research* (2nd ed.). Sage.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2019). Port regionalization: Improving port competitiveness. *Maritime Economics & Logistics*.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2021). The path-dependency of port development. *Journal of Transport Geography*.
- Nuortimo, K. (2024). Exploring corporate reputation and crisis communication. *Place Branding and Public Diplomacy*.
- Novaes, A. G. (2021). *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos*. Atlas.
- Oliveira, D., & Costa, H. (2024). Integração entre SWOT e matriz esforço × impacto. *Revista Produção Online*.
- Paladini, E. P. (2012). *Gestão da qualidade*. Atlas.
- Paranaguá (Município). (2022). *Plano Diretor Municipal: Lei Complementar nº 220/2022*.
- Pecqueur, B., & Zimmermann, J.-B. (2004). *Economia da proximidade*. CEPAL.
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*.
- Porter, M. E. (2008). *On Competition*. Harvard Business School Press.
- Rodrigue, J.-P. (2020). *The Geography of Transport Systems* (5th ed.). Routledge.
- Sacks, R., et al. (2020). *BIM and Lean Integration*. CRC Press.
- Sampaio, F. (2020). Territorial governance and institutional legitimacy. *Journal of Regional Planning*, 12(4).
- Santos, M., & Becker, G. (2018). Local networks and relationship-building in industrial clusters. *Journal of Maritime Affairs*, 17(3).
- Shen, H., Feng, Z., Gao, K., & Liu, Q. (2024). Technological ecosystems and competitiveness in engineering-intensive industries. *Engineering Management Journal*.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations Management* (10th ed.). Pearson.
- Souza, R., & Melhado, S. (2020). *Gestão da qualidade na construção civil*. O Nome da Rosa.
- Suchman, M. (1995). Managing legitimacy: Strategic and institutional approaches. *Academy of Management Review*, 20(3), 571–610.
- Vázquez-Barquero, A. (2002). *Endogenous Development*. Routledge.
- Villaça, F. (2012). *Espaço intra-urbano no Brasil*. Studio Nobel.
- Yi, Y. (2023). Corporate credibility and stakeholder trust in B2B markets. *Journal of Business Research*.

Yin, R. (2018). Case Study Research: Design and methods (6th ed.). Sage.

Zhu, Q., Li, H., & Wang, Z. (2024). Fuzzy logic-based prioritization in modular construction projects. ANDRADE, R.; TOLFO, R. Ferramentas de priorização na gestão de processos organizacionais. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 22, n. 4, p. 1-18, 2018.

APÊNDICE A

Questionário – Percepção de Mercado sobre a Engenharia

1. Perfil do respondente

- 1.1 Idade:
() Campo aberto
- 1.2 Gênero:
() Feminino
() Masculino
() Prefiro não informar

2. Conhecimento e visibilidade da empresa

- 2.1 Você conhece ou já ouviu falar da empresa de Engenharia?() Nunca ouvi falar
() Já ouvi, mas não conheço a atuação
() Sei aproximadamente o que faz
() Conheço bem os serviços
() Já contratei / Tenho relação comercial

- 2.2 Caso tenha algum conhecimento sobre a empresa, onde você conheceu ?
() Indicação de parceiros
() Redes sociais
() Visita técnica / obra
() Eventos ou reuniões da área
() Licitações / processos institucionais
() Não se aplica
() Outro: _____

- 2.3 Como você descreveria a imagem da empresa de Engenharia no mercado?
() Muito positiva
() Positiva
() Neutra
() Negativa

() Muito negativa
() Não consigo avaliar

3. Percepção sobre serviços e credibilidade

3.1 Na sua percepção, quais serviços ou especialidades a oferece?
() Obras civis
() Infraestrutura ferroviária e portuária
() Gestão e supervisão de obras
() Engenharia consultiva e projetos
() Não sei avaliar

3.2 Em relação à credibilidade técnica da empresa, você diria que é:
() Alta credibilidade
() Boa credibilidade
() Credibilidade mediana
() Baixa credibilidade
() Não consigo avaliar

3.3 Você considera a empresa de Engenharia uma empresa com potencial para atuar de forma competitiva na região de Paranaguá?
() Sim, com forte potencial
() Sim, com potencial moderado
() Pode enfrentar dificuldades
() Baixo potencial competitivo
() Não consigo avaliar

4. Critérios de contratação e desafios do mercado

4.1 Quais fatores você considera mais importantes ao contratar serviços de engenharia?
() Preço competitivo
() Qualificação técnica da equipe
() Cumprimento de prazos
() Referências e reputação no mercado
() Certificações / conformidade normativa
() Assistência e acompanhamento pós-entrega

4.2 Na sua opinião, quais são os principais desafios para empresas de engenharia atuarem em Paranaguá?
() Concorrência já estabelecida
() Dificuldade de acesso a clientes locais
() Barreiras institucionais e burocráticas

- () Necessidade de adaptação à cultura local
 () Logística regional
 () Não sei avaliar

5. Comunicação e relacionamento

5.1 Como você prefere estabelecer o contato inicial com fornecedores ou prestadores de serviços de engenharia?

- () Visita presencial
 () Indicação de terceiros
 () E-mail institucional
 () Contato via LinkedIn ou redes sociais
 () Participação em eventos
 () Outro: _____

5.2 Você considera relevante que uma empresa de engenharia participe de eventos, fóruns ou grupos técnicos locais?

- () Sim, é essencial
 () Sim, é importante
 () Pode ser útil, mas não é decisivo
 () Não considero relevante
 () Não sei avaliar

5.3 Qual canal de comunicação você considera mais eficaz para acompanhar o trabalho de uma empresa de engenharia?

- () LinkedIn
 () Instagram
 () Site institucional / portfólio online
 () Apresentações presenciais / reuniões
 () Relatórios técnicos e cases
 () Outro: _____

6. Diferenciais competitivos e relacionamento

6.1 Na sua percepção, qual o principal diferencial que uma empresa de engenharia precisa apresentar para se consolidar em Paranaguá?

- () Custo competitivo
 () Experiência comprovada em obras locais
 () Relacionamento com clientes e parceiros regionais
 () Equipe técnica qualificada
 () Inovação tecnológica / uso de metodologias atuais

() Outro: _____

6.2 Caso já tenha tido interação com a empresa de Engenharia, como você avaliaria o atendimento ou relacionamento inicial?

() Excelente

() Bom

() Regular

() Insuficiente

() Não tive interação

7. Área de atuação do respondente

7.1 Em qual área você atua?

() Operações portuárias / terminais

() Construção civil / infraestrutura

() Transporte e logística

() Administração / comercial / serviços

() Outro: _____

APÊNDICE B

O QUÊ?	PORQUÊ ?	QU EM?	ONDE?	COMO?	QUAN DO	QU ANTO?
Participar de fóruns locais vinculados ao setor portuário.	Para ampliar a inserção institucional da empresa no ambiente portuário.	Eng enheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da participação em eventos e fóruns setoriais locais	Fóruns, associações e eventos do setor portuário em Paranaguá	Mensal mente	R\$ 300,00
Solicitar reuniões institucionais de apresentação da empresa.	Para fortalecer o reconhecimento da marca juntos potenciais parceiros	Eng enheiro de Produção 2 (EP2)	Por meio de contato formal para solicitação de reuniões institucionais	Empresas, terminais e organizações do setor portuário-industrial	Sob demanda, conforme agenda dos parceiros	R\$ 100,00
Criar um calendário sistemático de visitas técnicas.	Para garantir regularidade e presença territorial no mercado local	Eng enheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da definição prévia de datas, responsáveis e objetivos das visitas	Obras, terminais e instalações de potenciais clientes	Mensal mente	R\$ 250,00
Promover encontros informais (cafés) com potenciais parceiros.	Para facilitar a construção de confiança por meio de relações diretas	Eng enheiro de Produção 2 (EP2)	Por meio da organização de encontros informais previamente agendados	Ambientes neutros (cafés, escritórios parceiros) em Paranaguá	Trimes tralmente	R\$ 200,00

Construir e manter uma rede ativa de relacionamento com gestores e coordenadores.	Para acessar atores estratégicos com influência nos processos decisórios	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio do acompanhamento contínuo dos relacionamentos estratégicos	Empresas, terminais e instituições locais	De forma contínua	R\$ 150,00
Publicar laudos técnicos, ARTs, estudos de caso e relatórios institucionais.	Para reforçar a credibilidade técnica da empresa	Engenheiro Civil 1 (EC1)	Por meio da divulgação controlada de documentos técnicos e entregas realizadas	Site institucional e canais institucionais da empresa	Trimestralmente	R\$ 400,00
Elaborar documentos técnicos padronizados (BIM, Lean Construction e segurança do trabalho).	Para demonstrar maturidade organizacional e alinhamento às boas práticas do setor	Engenheiro Civil 2 (EC2)	Por meio da elaboração e padronização de documentos técnicos conforme normas vigentes	Ambiente interno da empresa	Semestralmente	R\$ 600,00
Padronizar Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), modelos e checklists.	Para reduzir variabilidade e aumentar a eficiência dos processos internos	Engenheiro Civil 1 (EC1)	Por meio da criação e aplicação de procedimentos operacionais padronizados	Ambiente interno da empresa	Semestralmente	R\$ 350,00
Divulgar certificações, competências e qualificações técnicas da empresa.	Para sinalizar qualidade técnica e reduzir a percepção de riscos dos contratantes	Engenheiro Civil 2 (EC2)	Por meio da divulgação institucional de certificações e competências técnicas	Site institucional, portfólio e apresentações	De forma contínua	R\$ 200,00
Criar uma lista segmentada de potenciais clientes (leads).	Para direcionar esforços comerciais de forma estratégica	Engenheiro Civil 2 (EC2)	Por meio do levantamento e segmentação de potenciais clientes estratégicos	Base de dados interna da empresa	Mensalmente	R\$ 150,00
Realizar o envio de e-mails comerciais com	Para aumentar a taxa de retorno e	Engenheiro de	Por meio do envio de comunicações comerciais com	E-mail institucional da empresa	Após o	R\$

follow-up em até 48 horas.	demonstrar agilidade comercial	Produção 2 (EP2)	retorno programado		primeiro contato, em até 48 horas	80,00
Agendar visitas institucionais de apresentação.	Para fortalecer a credibilidade por meio de presença institucional	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da realização de visitas presenciais previamente agendadas	Empresas e terminais do setor	Mensalmente	R\$ 250,00
Desenvolver abordagens comerciais personalizadas para grandes players.	Para atender as exigências específicas de grandes organizações	Engenheiro de Produção 2 (EP2)	Por meio da adaptação da abordagem comercial ao perfil de cada organização	Empresas de grande porte do setor portuário-industrial	Conforme oportunidades estratégicas	R\$ 300,00
Desenvolver POPs e modelos padronizados para processos internos.	Para garantir previsibilidade e padronização das atividades internas	Engenheiro Civil 1 (EC1)	Por meio da formalização e documentação dos processos internos	Ambiente interno da empresa	Semestralmente	R\$ 400,00
Implementar planilhas de controle ou sistema de CRM.	Para monitorar o relacionamento e oportunidades com o cliente	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio da utilização de planilhas de controle ou sistema de CRM	Ambiente interno da empresa	De forma contínua	R\$ 150,00
Capacitar a equipe para a elaboração de orçamentos.	Para aumentar a competitividade e reduzir riscos financeiros	Engenheiro de Produção 2	Por meio da realização de treinamentos internos para elaboração de orçamentos	Ambiente interno da empresa	Anual	R\$

		(EP2)			mente	500,00
Estruturar um banco de fornecedores qualificados.	Para assegurar a confiabilidade na cadeia de suprimentos	Engenheiro de Produção 1 (EP1)	Por meio do cadastramento e avaliação prévia de fornecedores	Base interna de fornecedores	Semestralmente	R\$ 300,00
Adotar o uso de BIM no portfólio de serviços.	Para melhorar a compatibilização de projetos e reduzir retrabalhos	Engenheiro Civil 2 (EC2)	Por meio da aplicação da metodologia BIM nos projetos desenvolvidos	Projetos desenvolvidos pela empresa	De forma contínua	R\$ 1.500,00
Utilizar ferramentas digitais para monitoramento de obras e processos.	Para apoiar a tomada de decisões e o controle de desempenho	Engenheiro Civil 1 (EC1)	Por meio do uso de ferramentas digitais de acompanhamento e controle	Obras e processos internos	De forma contínua	R\$ 600,00
Divulgar o domínio tecnológico da empresa por meio de estudos de caso e publicações institucionais.	Para fortalecer a reputação e ampliar a visibilidade institucional.	Engenheiro Civil 2 (EC2)	Por meio da produção e divulgação de estudos de caso e conteúdos técnicos	Site institucional, redes profissionais e apresentações	Trimestralmente	R\$ 400,00

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ESTOQUES EM UMA ACADEMIA: INVENTÁRIO, CLASSIFICAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO

David Cordeiro Ramos (dcordeiroramos03@gmail.com)

Prof. Dra. Camila Matos (camila.matos@unespar.edu.br)

Resumo: A gestão eficiente de estoques é fundamental para a continuidade e qualidade dos serviços, especialmente em empresas de pequeno porte, onde a falta de controles estruturados pode gerar impactos operacionais e financeiros. Este estudo teve como objetivo implementar um sistema de gestão de estoques em uma academia de pequeno porte, com foco no controle de materiais utilizados nos setores operacionais e administrativos. A ausência de procedimentos padronizados resultava em perdas, compras desnecessárias e falta de visibilidade sobre os custos. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso com abordagem quali-quantitativa, envolvendo levantamento de dados, inventário, codificação padronizada dos itens, reorganização física do almoxarifado, aplicação da Curva ABC para os produtos da loja e definição de níveis de estoque mínimo, máximo e ponto de reposição. Como resultado, observou-se maior acuracidade das informações e redução do risco de ruptura de itens essenciais, como evidenciado pela identificação de 25 itens do almoxarifado abaixo do estoque mínimo, agora monitorados. A consolidação dos dados sobre consumo, níveis de estoque e reposição também forneceu melhor suporte à tomada de decisão gerencial. Além disso, foi desenvolvida uma planilha automatizada que centraliza entradas, saídas, saldos e indicadores, promovendo um controle mais eficiente. A proposta mostrou-se adaptável a outras empresas de serviços com desafios semelhantes na gestão de estoques.

Palavras-chave: Controle de materiais; Almoxarifado; Curva ABC; Empresa de serviços.

IMPLEMENTATION OF AN INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM IN A GYM: INVENTORY, CLASSIFICATION AND AUTOMATION

Abstract: Efficient inventory management is essential for service continuity and quality, especially in small-sized companies, where the lack of structured controls can lead to operational and financial impacts. This study aimed to implement an inventory management system in a small fitness

center, focusing on improving control over materials used in operational and administrative sectors. The absence of standardized procedures resulted in losses, unnecessary purchases, and limited visibility of costs. The research was conducted through a case study with a qualitative and quantitative approach, involving data collection, inventory execution, standardized item coding, physical reorganization of the storeroom, application of the ABC analysis for retail products, and the definition of minimum, maximum, and reorder stock levels. The results showed greater data accuracy and a reduced risk of stockouts for essential items, evidenced by the identification of 25 storeroom items operating below the minimum stock level and subsequently monitored. The consolidation of information regarding consumption, stock levels, and replenishment provided better support for managerial decision-making. Additionally, an automated spreadsheet was developed to centralize entries, exits, balances, and management indicators, contributing to more efficient inventory control. The proposed approach proved to be adaptable to other service-oriented organizations facing similar inventory management challenges.

Keywords: Inventory Management; Storeroom; ABC Analysis; Service Companies.

1. INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de estoques é um fator relevante para a competitividade das empresas, inclusive no setor de serviços. Mesmo com menor complexidade operacional em relação à indústria, academias e escolas de natação lidam com diferentes insumos, materiais de consumo e itens de revenda que demandam controle adequado (Cardoso & De Brito, 2022). A ausência desse controle pode comprometer o desempenho financeiro e organizacional, especialmente em micro e pequenas empresas, realidade comum no contexto brasileiro (Oliveira et al., 2016; Nunes, Junior & Gomes, 2022).

A gestão de estoques envolve o planejamento, o controle e o monitoramento dos materiais utilizados pela empresa, com o objetivo de atender às demandas com o menor custo possível (Santoro & Freire, 2008). Essa atividade impacta diretamente a qualidade do serviço prestado, o nível de atendimento e os custos operacionais, sendo um aspecto estratégico tanto no comércio quanto na prestação de serviços (Nóbrega et al., 2016). Entretanto, em empresas de serviços, esse processo costuma ocorrer de forma informal, dificultando o acompanhamento das entradas, saídas e níveis de estoque.

Nesse contexto, o controle de estoques torna-se essencial para a saúde financeira da organização, uma vez que a falta de organização pode resultar em compras desnecessárias, perdas por armazenamento inadequado e ruptura de itens essenciais, afetando o fluxo de caixa e a continuidade dos serviços (Aguiar & Sampaio, 2014). Assim, integrar a gestão de estoques à gestão financeira contribui para decisões mais

assertivas, maior previsibilidade dos gastos e melhoria da eficiência operacional, fortalecendo a competitividade da empresa.

A literatura aponta que uma gestão de estoques eficaz e eficiente pode influenciar positivamente o desempenho financeiro das organizações (Orobia et al., 2020), no entanto, ainda há uma escassez de estudos voltados especificamente para o setor de serviços, como as academias. Essas organizações geralmente operam com recursos limitados e carecem de ferramentas de controle sistematizado, o que dificulta a aplicação eficiente das práticas de gestão e reforça a necessidade de estudos que proponham soluções práticas compatíveis com a realidade desses negócios (Sousa et al., 2023).

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo implementar um sistema de gestão de estoques em uma academia localizada na cidade de Paranaguá/PR, buscando analisar os impactos dessa prática na saúde financeira da empresa e destacar a importância de sua utilização. Para isso, a pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de caso com abordagem quali-quantitativa, utilizando observação direta, levantamento de dados internos e registros de controle. Foram aplicadas ferramentas para mapeamento de processos, inventário, categorização e organização dos itens em estoque, utilizando métodos como a Curva ABC para classificação dos materiais, modelos de controle de estoques para definir níveis ideais de reposição, e indicadores de desempenho que possibilitem o acompanhamento da gestão.

No campo teórico, o estudo contribui para a ampliação do conhecimento sobre a relação entre gestão de estoques e desempenho financeiro em empresas de serviços. No aspecto prático, o trabalho ofereceu à empresa um modelo funcional de controle de estoques, alinhado às suas necessidades operacionais. Observou-se que a proposta pode ser adaptada por outras pequenas empresas que enfrentam desafios semelhantes.

Inserido na área de Cadeia de Suprimentos, uma das 10 áreas da ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, este artigo está estruturado em 5 seções: introdução ao tema, fundamentação teórica sobre gestão de estoques, metodologia do estudo, apresentação e análise do estudo de caso, seguidas pelas considerações finais e pelas referências bibliográficas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DE ESTOQUES

A gestão de estoques pode ser entendida como o conjunto de práticas e estratégias utilizadas para controlar de forma eficiente os materiais armazenados por uma organização, buscando equilibrar a disponibilidade de itens com os custos associados ao seu armazenamento (Johann et al., 2015). De acordo com Ching (2010), seus principais objetivos são: planejar as quantidades de materiais que entram

e saem; determinar os momentos em que essas movimentações ocorrem; controlar o intervalo de tempo entre elas e definir os pontos de reposição. Um bom planejamento de estoques reduz a ocorrência de imprevistos e facilita o acompanhamento dos fluxos de entrada e saída, contribuindo para uma gestão mais eficiente.

O estoque é considerado um dos principais elementos responsáveis por uma parcela significativa do investimento financeiro de uma empresa, tendo como propósito manter a organização continuamente abastecida com seus bens de consumo (Chiaretto, Albuquerque & Carneiro, 2021). Para se obter uma gestão empresarial mais eficiente, Bertaglia (2017) destaca a importância da gestão de estoques, o autor ressalta que não basta apenas implantar um sistema de controle, é necessário que esse processo seja monitorado e mensurado continuamente para que gere resultados reais. Além disso, apenas o planejamento de estoques não garante eficácia, é preciso ser bem executado por profissionais capacitados, assegurando que a estratégia seja aplicada com eficiência e contribua realmente para o desempenho da organização. Sabe-se que um mau dimensionamento da gestão dos estoques acarreta altos custos para a organização (Johann et al., 2015).

Além disso, a organização física do espaço é reconhecida como um elemento importante na gestão de estoques. Segundo Marquesini (2023), a disposição adequada dos materiais, a clareza visual e a padronização dos locais de armazenagem facilitam o fluxo interno e otimiza o uso do espaço, aspectos que impactam diretamente os custos e a produtividade. O autor também destaca que a organização deve favorecer o melhor aproveitamento do espaço disponível, promovendo o acesso rápido e seguro dos materiais. Um almoxarifado bem estruturado, com um layout planejado de maneira correta, pode reduzir significativamente os custos operacionais da empresa (Paoleschi, 2014).

Na prática, a gestão de estoques envolve a definição de políticas de reposição, níveis mínimos e máximos, periodicidade de compras, arranjo físico, bem como a escolha adequada de modelos e ferramentas de controle. De acordo com Slack et al. (2009), essas decisões afetam diretamente o nível de serviço ao cliente e a competitividade da empresa no mercado.

2.1.1 Estoque Mínimo

O estoque mínimo, também chamado de estoque de segurança, corresponde à quantidade mínima de materiais que deve ser mantida disponível para evitar rupturas e garantir que o atendimento das necessidades internas não seja interrompido (Slack et al., 2009). Quanto mais a empresa busca garantir um atendimento eficiente a seus clientes, maior deve ser a atenção dedicada ao estoque de segurança. Ele atua como reserva diante de erros de previsão e atrasos na reposição, funcionando como barreira

contra falhas do processo (Rodrigues, 2023). Uma forma simplificada e amplamente utilizada para o cálculo desse nível mínimo baseia-se na relação entre a demanda média e o tempo de reposição do item. Sua determinação pode ser feita por meio da Equação (1):

$$E_{min} = \mu_{mensal} \times LT_{mensal} \quad (1)$$

Nessa expressão, E_{min} representa a quantidade mínima necessária para evitar rupturas, enquanto μ_{mensal} corresponde à média de consumo mensal do material, e LT_{mensal} refere-se ao tempo médio, em meses, que o fornecedor leva para realizar a reposição após o pedido. Assim, o valor resultante indica o volume mínimo que deve ser mantido disponível para garantir o atendimento contínuo das atividades internas.

2.1.2 Estoque Máximo

O estoque máximo corresponde ao nível superior de quantidade que deve ser mantido em estoque, de modo a evitar tanto excessos quanto custos desnecessários com armazenagem (Carvalho, 2016). Esse parâmetro permite que a empresa estabeleça um limite seguro para o volume armazenado, garantindo que não haja acúmulo de materiais além do necessário e, ao mesmo tempo, assegurando que o consumo interno será atendido até o próximo ciclo de reposição. O estoque máximo pode ser obtido através da demanda média com o tempo de reposição e o estoque mínimo, conforme Equação (2).

$$E_{max} = \mu_{mensal} \times LT_{mensal} + E_{min} \quad (2)$$

Esse parâmetro funciona como um limite superior de abastecimento, garantindo que haja disponibilidade suficiente de materiais até o próximo ciclo de compras e contribuindo para a manutenção do equilíbrio operacional e a redução de custos, conforme destacado por Bertaglia (2006) e Dias (2010).

2.1.3 Ponto de Pedido

Os modelos de controle de estoques utilizam diferentes parâmetros para orientar a reposição dos materiais de forma eficiente. O tempo de reposição ou *lead time*, desempenha um papel central no cálculo do ponto de reposição, também chamado de ponto de pedido. Conforme Brandalise (2017), esse período corresponde ao intervalo total entre a identificação da necessidade de reposição e o recebimento efetivo do material no almoxarifado. Esse ciclo envolve diversas etapas, como a verificação da falta do item, a emissão do pedido de compra, o tempo necessário para que o fornecedor produza ou separe o

material, o prazo de entrega e, por fim, o recebimento acompanhado da conferência de qualidade e quantidade.

De forma complementar, Bertaglia (2006) destaca que a correta mensuração do *lead time* é fundamental para reduzir riscos de ruptura e excessos de estoque, sobretudo em ambientes com consumo recorrente. Com base nesses parâmetros, o ponto de pedido pode ser determinado por meio da Equação (3), utilizada para identificar o momento exato em que deve ser iniciado um novo processo de reposição.

$$PP = \text{Consumo Médio Diário} \times \text{Tempo de Reposição} + E_{min} \quad (3)$$

Essa fórmula combina três elementos fundamentais: a quantidade média consumida por dia, o tempo necessário para reposição e uma margem adicional destinada a prevenir rupturas. Assim, o ponto de pedido funciona como um alerta operacional, indicando que o estoque atingiu o nível mínimo seguro e que um novo pedido deve ser realizado para evitar desabastecimento.

2.1.4 Curva ABC

Baseada no raciocínio do Diagrama de Pareto, a ferramenta de classificação ABC atua como um recurso de melhoria na gestão de estoques, permitindo acesso a informações precisas que apoiam as decisões de reposição (De Oliveira et al., 2022). Recebe o nome de curva ABC porque os produtos são classificados conforme o retorno que proporcionam à empresa, dividindo-se em três categorias: A, B e C. Dessa forma, a curva ABC auxilia os gestores na tomada de decisões, identificando os produtos mais vendidos, o giro de estoque, os itens mais lucrativos e orientando como os recursos da empresa devem ser direcionados (Santa Ana, 2021).

Também conhecida como regra 80/20, a ferramenta leva essa denominação porque, na maioria dos estoques, cerca de 80% do valor total é concentrado em apenas 20% dos itens. Normalmente, uma pequena parcela dos produtos armazenados representa uma grande parte do valor total do estoque, assim, classificando os itens com base em sua movimentação de valor, permitindo que os gestores concentrem esforços no controle dos produtos mais importantes (Slack et al, 2009). A representação gráfica da curva ABC pode ser vista na Figura 1.

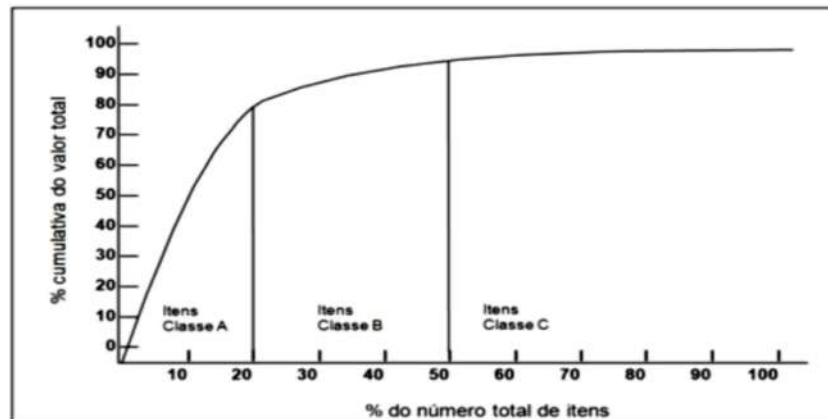


Figura 1 – Curva ABC

Fonte: Slack et al. (2009, p. 379).

Tradicionalmente, a Curva ABC é apresentada com a distribuição 80%–15%–5%, na qual a Classe A concentra a maior parcela do valor do estoque, seguida pelas Classes B e C. Entretanto, a literatura destaca que esses percentuais não devem ser interpretados como limites rígidos, mas como referências que podem ser ajustadas de acordo com a realidade da empresa e com a finalidade da análise.

Martins e Alt (2005) ressaltam que os itens da Classe A podem representar entre 35% e 70% do valor movimentado no estoque, enquanto os itens da Classe B variam entre 10% e 45%, cabendo à Classe C o percentual restante. Dessa forma, a Curva ABC permite adaptações nos intervalos percentuais, possibilitando que a classificação reflita de maneira mais fiel a distribuição dos dados analisados e ofereça melhor suporte à tomada de decisão gerencial.

Conforme a classificação proposta por Ramos (2019), a Classe A compreende os materiais de maior impacto financeiro ou operacional, que demandam controle rigoroso e acompanhamento contínuo. A Classe B reúne itens de relevância intermediária, cujo monitoramento pode ser realizado de forma moderada. Já a Classe C abrange materiais de menor valor ou baixa representatividade no custo total, exigindo apenas um controle básico e rotineiro.

2.2 GESTÃO DE ESTOQUES EM SETOR DE SERVIÇOS

A gestão de estoques em empresas do setor de serviços apresenta características distintas em relação ao setor industrial ou comercial, pois o foco principal está no controle de insumos utilizados para a prestação do serviço, e não necessariamente em produtos destinados à venda (Dias, 2010). Em organizações prestadoras de serviço, como academias, hospitais, escolas, restaurantes, entre outros, a atenção está voltada para itens como materiais de limpeza, itens de escritório, uniformes, equipamentos

de apoio, entre outros recursos, que são fundamentais para o funcionamento contínuo e de qualidade do serviço ofertado.

No setor de serviços, a gestão de estoques está fortemente ligada na previsão da demanda e na padronização de processos. Conforme destaca Slack et al. (2009), um controle de estoques eficiente em ambientes de serviço deve considerar fatores como a previsibilidade do consumo, a periodicidade de reposição e a categorização dos itens por tipo de uso ou setor consumidor. A ausência de tais práticas pode resultar em desperdícios, compras emergenciais com custos elevados, falta de materiais essenciais e até paralisações no atendimento.

Complementando esse entendimento, Caxito (2011) destaca que o principal desafio da gestão de estoques no setor de serviço está na identificação clara de seus benefícios e na adequada verificação e controle dos níveis de estoque, que deve ser ajustado conforme as reais necessidades da empresa. A ausência de conhecimento sobre as vantagens da gestão de estoques e a dificuldade em definir a forma mais apropriada de controlar cada tipo de item comprometem consideravelmente a eficiência do processo (Nunes, Junior & Gomes, 2022).

Dessa forma, é pertinente que as empresas do setor de serviços adotem métodos que favoreçam a organização, a classificação e o monitoramento constante dos insumos utilizados em suas operações. Técnicas como a identificação visual dos materiais, a definição de áreas específicas de armazenamento e a elaboração de inventários periódicos são necessários para garantir a eficiência do controle e evitar perdas ou desperdícios. A gestão de estoques, quando bem aplicada, contribui diretamente para a continuidade e a qualidade dos serviços prestados, impactando positivamente na experiência do cliente e na saúde financeira da organização (Slack et al., 2009).

2.3 IMPACTOS DA GESTÃO DE ESTOQUES NA SAÚDE FINANCEIRA DAS EMPRESAS

A gestão de estoques exerce influência significativa sobre os indicadores financeiros das empresas. Estoques excessivos representam capital parado, aumento de custos com armazenagem, perdas por deterioração ou obsolescência, enquanto estoques insuficientes podem gerar atrasos, perda de vendas e insatisfação dos clientes, comprometendo assim a imagem da empresa (Orobia et al., 2020).

De acordo com os autores Bertaglia (2017), Caxito (2011) e Ching (2010), o equilíbrio na administração dos estoques é essencial para que a organização maximize sua eficiência operacional sem comprometer sua saúde financeira. Nesse sentido, o controle eficaz dos níveis de estoque possibilita a redução de custos operacionais e melhora o fluxo de caixa. Complementando essa visão, Ching (2010)

afirma que a gestão de estoques constitui uma ferramenta estratégica para a diminuição dos custos totais relacionados à aquisição, movimentação e controle de materiais.

Para garantir uma gestão de estoques eficaz e alinhada aos objetivos organizacionais, é necessário o uso de indicadores de desempenho que permitam mensurar, monitorar e aprimorar continuamente os processos relacionados ao controle dos insumos (Bowersox, Closs & Cooper, 2009). Indicadores como o giro de estoque, a acuracidade do inventário, o tempo de reposição e o custo de armazenagem fornecem dados concretos que auxiliam na identificação de falhas, oferecem suporte à tomada de decisões e contribuem para a antecipação de demandas.

Portanto, para conseguir atingir esses objetivos, é importante que a organização desenvolva e mantenha uma política adequada de gestão de estoques, alinhada aos seus objetivos estratégicos. Segundo Bertaglia (2017), uma estratégia bem elaborada e conduzida minimiza os custos associados ao estoque e assegura o bom desempenho das atividades operacionais e dos demais processos internos. Nesse mesmo contexto, Caxito (2011) reforça que uma gestão eficiente é o caminho mais eficaz para reduzir os custos operacionais e garantir maior equilíbrio financeiro para a empresa. Dessa forma, a gestão de estoques deixa de ser apenas uma atividade operacional e passa a ser uma função estratégica, contribuindo diretamente para a saúde financeira, a qualidade do serviço prestado e a competitividade da organização no mercado.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1 ESCOPO DA APLICAÇÃO

Está pesquisa foi desenvolvida em uma academia localizada no município de Paranaguá/PR, especializada em natação, hidroginástica e musculação. Fundada em 2020, a organização está localizada em um bairro residencial no município e com sete colaboradores, distribuídos entre os setores de gerência, secretaria, instrutores e limpeza. Sua estrutura física possui aproximadamente 740 m², sendo composta por área da piscina, espaço de musculação, secretaria, sala de espera, banheiros, lavanderia, copa e espaço *kids*. Atualmente, a academia tem capacidade para atender até 430 alunos, distribuídos entre os três serviços oferecidos.

A academia não possuía um sistema estruturado de gerenciamento de estoques. Embora existisse certo controle por meio de planilhas eletrônicas, este processo se mostrava ineficaz, apresentando recorrentes divergências entre o estoque físico e os registros digitais. Grande parte desses problemas decorreu da ausência de organização, categorização e padronização dos itens armazenados. Essa ausência de padronização gerava problemas como:

- Materiais armazenados de forma improvisada e sem setorização;
- Dificuldade de localizar itens e ausência de categorização;
- Compras duplicadas por desconhecimento do que havia disponível;
- Ruptura de itens essenciais em momentos críticos;
- Inexistência de critérios de reposição, estoque mínimo, indicadores; e,
- Impactos diretos no fluxo de caixa e na previsibilidade financeira.

Os produtos de natação comercializados na loja da academia, como roupas e acessórios, variam em tamanhos (do PP ao XGG), exigindo um controle preciso para evitar rupturas ou excessos. Entretanto, não havia um sistema de classificação ou separação adequado para esses itens. Além disso, os insumos de limpeza, tanto para a área geral da academia quanto para a manutenção específica da piscina eram armazenados de maneira improvisada em espaços inadequados, trancados apenas para impedir o acesso dos alunos, o que não garantia segurança, acessibilidade ou organização eficiente.

Outros materiais, como itens de consumo da recepção e da sala de espera (bolachas, cafés, guardanapos), produtos de higiene dos banheiros (papel higiênico, sabonetes, papel toalha) e materiais de manutenção (equipamentos, ferramentas, peças de reposição), também não possuíam um local único e padronizado para armazenamento. Como consequência, ocorria frequentemente a perda de materiais, dificuldade na localização de itens e até compras desnecessárias por desconhecimento do que já estava disponível em estoque.

O processo de compras da academia ocorria de forma reativa, onde os funcionários identificavam a falta de algum produto no momento do uso ou quando estava próximo de acabar, e a partir disso, comunicavam a gerência para realizar a reposição. Por exemplo, quando se notava que as toucas de natação estavam acabando, apenas então era feito um novo pedido. No caso dos produtos utilizados na piscina, como cloro e algicidas, geralmente havia uma tentativa de compra periódica, mas sem um controle sistemático de consumo e previsão de necessidade real.

A ausência de um controle sistematizado, baseado apenas na percepção visual e na urgência, acabava gerando diversos problemas operacionais. Um deles era a realização de compras desnecessárias, uma vez que, sem um acompanhamento preciso do estoque, era comum realizar pedido de itens que já estavam disponíveis, porém esquecidos, mal localizados ou registrados de forma inadequada.

O impacto mais crítico dessa situação incidia sobre a saúde financeira da empresa. A falta de controle detalhado sobre os materiais de uso interno impossibilitava uma visão clara dos gastos operacionais, o que comprometia a precisão do fluxo de caixa e dificultava a tomada de decisões gerenciais. Embora houvesse registro das vendas dos produtos comercializados na loja da academia, os

custos com insumos operacionais não eram contabilizados de forma sistemática, gerando riscos à sustentabilidade do negócio.

Diante deste cenário surgiu a necessidade de criar um sistema de controle estruturado, fundamentado em mapeamento, inventário, padronização, cálculos de reposição e posterior automatização em planilha digital. É sobre esse contexto que se desenvolvem as etapas metodológicas descritas a seguir.

3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

A abordagem adotada foi quali-quantitativa, baseada em estudo de caso, seguindo etapas sequenciais que permitiram compreender o funcionamento atual do estoque, diagnosticar suas fragilidades e construir um modelo funcional de controle capaz de gerar informações consistentes para a tomada de decisão.

Diante dos problemas que foram identificados na gestão de estoques da academia, o objetivo deste trabalho foi a aplicação de um conjunto de ações que melhorassem a acuracidade das informações, evitando desperdícios e possibilitando tomadas de decisão mais assertivas por parte da gerência. A Figura 2 apresenta o fluxograma com as etapas realizadas.

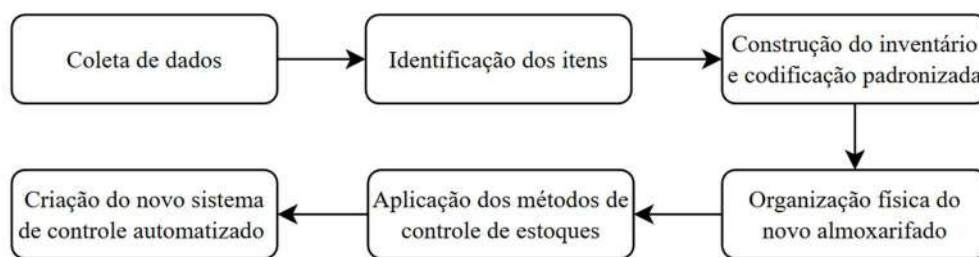


Figura 2 – Fluxograma das etapas do estudo

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Slack et al. (2009) e Bertaglia (2017).

A coleta de dados foi realizada no período de julho a novembro de 2025, por meio de visitas técnicas à empresa, observação direta e sistemática das rotinas relacionadas ao controle de estoques e aplicação de entrevistas semiestruturadas com os responsáveis pelos setores envolvidos. A observação direta ocorreu durante o acompanhamento das atividades de entrada, armazenamento, retirada e reposição dos materiais, permitindo compreender como os itens eram utilizados, armazenados e controlados no dia a dia, bem como identificar falhas operacionais e ausência de padronização nos procedimentos adotados.

As entrevistas foram conduzidas de forma informal e semiestruturada, com a gerência e colaboradores responsáveis pela utilização e reposição dos materiais, utilizando um roteiro orientado por questões relacionadas à forma de controle existente, critérios de compra, frequência de reposição, dificuldades enfrentadas no uso dos materiais e percepção sobre perdas, faltas ou excessos de estoque. Além disso, foram analisados documentos internos, como registros de compras, vendas e planilhas existentes, possibilitando levantar informações sobre o histórico de consumo, custos e práticas adotadas na gestão de estoques.

Com base nos dados coletados, a segunda etapa consistiu na identificação e levantamento dos itens utilizados pela organização, com o objetivo de reconhecer os grupos de materiais consumidos em cada setor. Foram identificados itens da loja, piscina, limpeza, secretaria, copa e manutenção. A loja concentra roupas e acessórios de natação; a limpeza reúne produtos de uso recorrente; a piscina utiliza insumos específicos para o tratamento da água; a secretaria emprega materiais administrativos; a copa abriga itens de consumo diário; e a manutenção envolve ferramentas e peças necessárias à infraestrutura. Para cada setor, foram identificados os respectivos itens e suas características de consumo, formando a base para a construção do inventário completo.

Após identificar os itens de cada setor, foi possível construir, na terceira etapa, o inventário físico de todo o material existente, sendo: a) contagem das unidades disponíveis; b) identificação de inconsistências entre estoque físico e registros existentes; c) separação de itens pertencentes ao estoque daqueles sem relação com as atividades da academia; e, d) primeira reorganização dos itens por setor e finalidade.

A partir do inventário, foi criado um sistema de codificação para todos os produtos. Foram estabelecidos dois padrões:

- itens da loja: código baseado no tipo de produto, modelo e tamanho; e,
- itens do almoxarifado: código baseado na categoria/setor e numeração sequencial.

Após a padronização, foi realizada a quarta etapa que consistiu na reorganização completa do espaço destinado ao estoque, incluindo: a) definição de zonas de armazenagem por categoria; b) identificação visual com etiquetas; c) separação entre materiais operacionais e produtos de venda; d) reorganização das prateleiras com base no giro dos itens. Segundo Ludwig et al. (2015), considerar aspectos como o tipo de produto e a movimentação interna é essencial para uma gestão de estoques eficiente.

Na quinta etapa, foram aplicadas as ferramentas de gestão de estoques, sendo elas: a) classificação ABC, identificando itens críticos, intermediários e de baixa relevância; b) cálculo de estoque mínimo, considerando consumo médio e *lead time*; c) ponto de pedido, com base na demanda e no ritmo de reposição.

A sexta e última etapa, consistiu no desenvolvimento da planilha automatizada de controle integrando:

- registro digital de entradas e saídas;
- campos automáticos de saldo;
- cálculo de estoque mínimo;
- indicadores de desempenho;
- relatórios gerenciais; e,
- *dashboard* analítico para auxiliar nas decisões de compra e reposição.

Todas as movimentações de entrada e saída passaram a ser registradas por meio de uma ficha manual preenchida a cada retirada ou chegada de itens, assegurando que o controle operacional estivesse alinhado ao inventário digital e que as informações permanecessem atualizadas ao longo do processo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COLETA DE DADOS E IDENTIFICAÇÃO DOS ITENS

A coleta inicial de dados evidenciou um cenário de controle fragilizado dos estoques, caracterizado por divergências recorrentes entre o estoque físico e os registros existentes. A partir do inventário físico, constatou-se que 100% dos itens operacionais não possuíam registro formal de quantidade, enquanto, no caso dos produtos da loja, havia apenas controle parcial por meio de recibos de venda, sem qualquer atualização sistemática de entradas e saídas em planilhas. Além disso, foram identificados mais de sete locais distintos de armazenamento, incluindo copa, secretaria, área da piscina e depósitos improvisados, o que dificultava a localização dos materiais e favorecia a duplicidade de compras.

As observações diretas permitiram verificar a ausência de padronização na disposição física, com itens de limpeza armazenados junto a materiais de consumo da copa e insumos da piscina mantidos em locais trancados, porém sem identificação ou organização por categoria. As entrevistas com os colaboradores confirmaram que a reposição dos materiais ocorria predominantemente de forma reativa, baseada na percepção visual da falta do item no momento do uso, sem critérios definidos de estoque

mínimo, máximo ou ponto de reposição. Essa prática resultava em compras emergenciais e imprevisíveis, impactando diretamente o fluxo de caixa e a continuidade das atividades operacionais. Situações semelhantes são apontadas por Nunes, Junior e Gomes (2022) como recorrentes em organizações que não adotam processos estruturados de gestão de estoques.

Na etapa de identificação dos itens, foram contabilizados 91 itens pertencentes à loja e 58 itens operacionais do almoxarifado, totalizando 149 itens distintos e mais de 440 unidades inventariadas. Observou-se que os setores de piscina e limpeza concentravam a maior variedade de materiais operacionais, quando comparados aos demais setores, evidenciando a necessidade de maior atenção e controle nesses grupos de itens.

A realização do inventário possibilitou uma visão completa da distribuição dos materiais e permitiu identificar itens adquiridos em duplicidade, decorrentes da ausência de registros confiáveis, além da existência de materiais sem uso recente e sem local de armazenamento definido. Também foram observadas condições inadequadas de armazenagem, como itens de limpeza alocados na copa e materiais operacionais dispersos em diferentes ambientes, o que reforçou a necessidade de reorganização física e padronização do controle de estoque.

4.2 CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO E CODIFICAÇÃO PADRONIZADA

A construção do inventário foi realizada por meio de um inventário físico geral inicial, com a finalidade de levantar e registrar todas as unidades existentes no estoque da empresa no momento da implantação do sistema. A partir desse levantamento, o controle passou a operar sob a lógica de inventário permanente, no qual todas as movimentações de entrada e saída são registradas continuamente em planilha digital, mantendo os saldos sempre atualizados.

No processo de codificação, os itens da loja passaram a ser identificados por um código composto pelo tipo de produto, modelo e tamanho, enquanto os itens operacionais receberam códigos organizados por categoria e numeração sequencial, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Codificação dos itens

Siglas	
MA = maiô adulto	OC = óculos
MI = maiô infantil	ME = meia
SA = sunga adulto	PA = protetor auricular

SI = sunga infantil	CP = itens da copa
BA = bermuda adulto	LP = itens de limpeza
BI = bermuda infantil	MN = itens de manutenção
RA = roupão adulto	PN = itens de piscina
RI = roupão infantil	SC = itens de secretaria
TC = touca	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A padronização dos códigos possibilitou a eliminação de duplicidades e interpretações divergentes, que anteriormente dificultavam a correta identificação dos itens. Antes da codificação, um mesmo produto era registrado com até três descrições diferentes, o que comprometia a confiabilidade das informações e inviabilizava análises precisas do estoque. Com a adoção de um código alfanumérico único para cada item, esse problema foi eliminado, contribuindo para a redução do tempo necessário para a contagem física e facilitando a consolidação do inventário. Além disso, a codificação estruturada promoveu uma organização lógica do banco de dados, assegurando maior consistência das informações registradas e maior precisão nos controles subsequentes de entrada, saída e saldo dos materiais, conforme também destacado por Marquesini (2023), ao afirmar que sistemas organizados favorecem o acesso rápido aos materiais e reduzem falhas operacionais.

4.3 ORGANIZAÇÃO FÍSICA DO NOVO ALMOXARIFADO

A reorganização física do almoxarifado resultou na centralização de todos os materiais em um único ambiente, anteriormente dispersos em diferentes locais da academia. Os itens passaram a ser setorizados por categoria e identificados visualmente por meio de etiquetas padronizadas e endereçamento definido nas prateleiras. A Figura 3 apresenta o ambiente do almoxarifado após a intervenção realizada.



Figura 3 – Organização do novo almoxarifado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme ilustrado na Figura 3, a definição de zonas de armazenagem por categoria e o endereçamento fixo dos materiais permitiram maior clareza visual e padronização na disposição dos itens. Cada grupo de produtos passou a ocupar uma posição previamente definida, o que facilitou a identificação do local correto de armazenagem e retirada. Esse resultado corrobora a perspectiva de Ludwig et al. (2015), ao destacarem que a organização do espaço físico deve considerar o tipo de produto e sua movimentação interna para garantir eficiência na gestão de estoques.

Como resultado direto dessa reorganização, observou-se uma redução significativa no tempo de localização dos materiais, uma vez que os colaboradores deixaram de procurar itens em múltiplos ambientes e passaram a identificá-los rapidamente por categoria e endereço físico. Além disso, a segurança operacional foi ampliada pela separação adequada de materiais potencialmente perigosos, como produtos químicos da piscina e de limpeza, evitando o armazenamento em locais impróprios e o acesso indevido.

A eliminação do armazenamento inadequado ocorreu principalmente pela retirada de itens que anteriormente estavam alocados em áreas como copa, recepção e espaços próximos à piscina, sem qualquer critério de organização. Com a centralização no almoxarifado, esses materiais passaram a ser acondicionados de forma compatível com sua natureza e frequência de uso. Essa mudança contribuiu para tornar o ambiente mais funcional, reduzir riscos operacionais e melhorar o fluxo de reposição, permitindo que as rotinas internas fossem executadas com maior agilidade e previsibilidade.

4.4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTROLE DE ESTOQUES

Após a categorização e codificação dos itens, a Curva ABC foi aplicada exclusivamente aos produtos comercializados na loja, uma vez que são os únicos que geram faturamento e, portanto,

permitem avaliar a relevância econômica de cada item. Os materiais do almoxarifado possuem finalidade operacional e não geram receita, razão pela qual sua inclusão não agregaria valor a uma análise baseada em faturamento. Para a construção da Curva ABC, adotou-se o critério 70%–20%–10%, por apresentar maior aderência ao perfil de faturamento dos produtos analisados, possibilitando uma identificação mais precisa dos itens de maior relevância econômica, em conformidade com a flexibilidade prevista na literatura (Martins & Alt, 2005). A curva apresentada na Figura 4 classifica os itens da loja conforme sua contribuição financeira no período analisado.

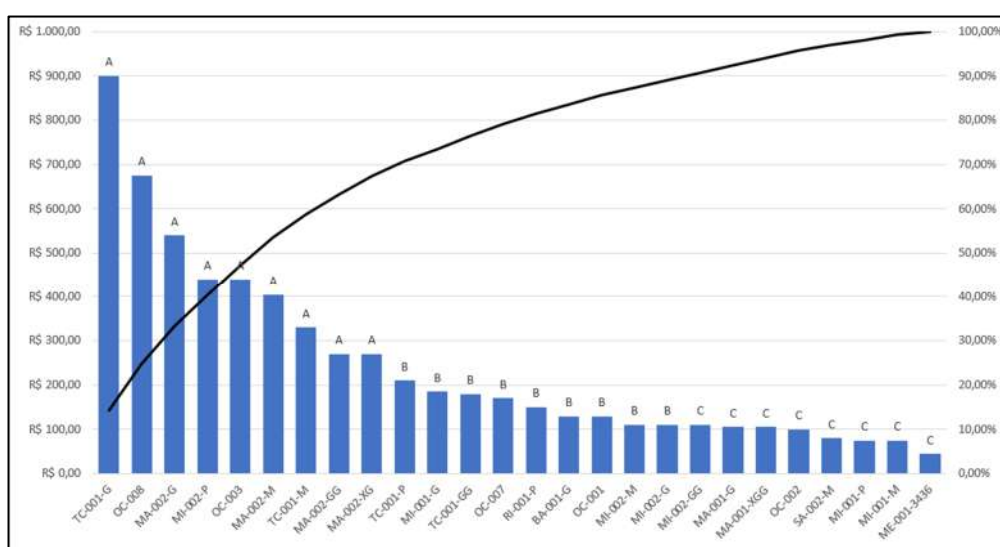


Figura 4 – Curva ABC dos itens de venda da loja da academia

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que apenas 9 itens foram considerados críticos, classificados na classe A, representando os produtos de maior impacto no faturamento e que exigem atenção prioritária por parte da gerência. Outros 9 itens entraram na classe B, com participação intermediária no total faturado. A maior parcela, composta por 73 itens, foi qualificada na Classe C, indicando baixa representatividade financeira. Desses 73 itens na classe C, 65 não registraram nenhuma venda durante os quatro meses analisados. Isso mostra a existência de um volume significativo de produtos parados, que imobilizam capital, ou seja, não geram retorno e ocupam espaço físico desnecessário.

Após a classificação, foram calculados os níveis de estoque mínimo, estoque máximo e ponto de pedido, garantindo que os produtos de maior giro permaneçam disponíveis sem comprometer as vendas. Esses parâmetros foram determinados com base nas Equações (1), (2) e (3), que consideram a demanda média, o tempo de reposição e o estoque de segurança. Na Figura 5 é possível visualizar os itens críticos classificados na Classe A, destacando os produtos que apresentam maior relevância comercial no período

analisado. Esses itens representam o foco das vendas da loja e, por esse motivo, demandam um controle mais rigoroso quanto aos níveis de reposição e monitoramento do estoque.

Código	Produto	Quantidade de Entrada	Quantidade de Saída	Saldo	Estoque Mínimo	Estoque Máximo	Ponto de Pedido	Preço Médio	Faturamento	% Individual	% Acumulada	Classe
TC-001-G	Touca G	30	30	0	11	22	17	R\$ 30,00	R\$ 900,00	14,20%	14,20%	A
OC-008	Óculos Speedo Smart Slc	19	9	10	4	8	6	R\$ 75,00	R\$ 675,00	10,65%	24,85%	A
MA-002-G	Maiô macaquinho adulto G	4	4	0	3	6	4	R\$ 135,00	R\$ 540,00	8,52%	33,36%	A
MI-002-P	Maiô macaquinho infantil P	7	4	3	3	6	4	R\$ 110,00	R\$ 440,00	6,94%	40,31%	A
OC-003	Óculos Speedo Tornado	6	4	2	4	8	6	R\$ 110,00	R\$ 440,00	6,94%	47,25%	A
MA-002-M	Maiô macaquinho adulto M	5	3	2	3	6	4	R\$ 135,00	R\$ 405,00	6,39%	53,64%	A
TC-001-M	Touca M	23	11	12	11	22	17	R\$ 30,00	R\$ 330,00	5,21%	58,84%	A
MA-002-GG	Maiô macaquinho adulto GG	6	2	4	3	6	4	R\$ 135,00	R\$ 270,00	4,26%	63,10%	A
MA-002-XG	Maiô macaquinho adulto XG	2	2	0	3	6	4	R\$ 135,00	R\$ 270,00	4,26%	67,36%	A
Total									R\$ 4.270,00		67,36%	

Figura 5 – Itens da classe A

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura apresenta os produtos de maior relevância comercial da loja, acompanhados de seus respectivos faturamentos, saldos atuais em relação aos níveis calculados de estoque mínimo e máximo e do ponto de reposição, definido a partir de um *lead time* de 5 dias, correspondente ao prazo médio informado pela empresa entre a realização do pedido e a chegada dos produtos. A análise mostra que parte dos itens de maior giro apresenta saldo zerado ou inferior ao estoque mínimo recomendado, como a touca G e os modelos de maiôs MA-002-G e MA-002-XG. Esses produtos apresentam risco potencial de ruptura em seus estoques, portanto possuem a necessidade imediata de reposição. Por outro lado, alguns produtos, como os óculos OC-008, encontram-se acima ou próximos do estoque máximo, sugerindo uma combinação entre baixa rotatividade e volume excessivo mantido em estoque.

Essa diferença mostra que, mesmo entre os itens de maior faturamento, o comportamento de consumo não é uniforme. A presença de produtos sem saldo, ao lado de outros com estoque elevado, reforça a importância de utilizar a classificação ABC como ferramenta de apoio para decisão, permitindo identificar quais itens exigem compras urgentes e quais demandam estratégias para estimular vendas e evitar investimento desnecessário em itens com pouca demanda. Esses achados corroboram com Slack et al. (2009), ao destacarem que a classificação adequada dos itens orienta decisões mais precisas sobre disponibilidade e reposição.

Já para os itens do almoxarifado, com base nos registros de movimentação de consumo ao longo dos quatro meses analisados, foi possível calcular os níveis de estoque mínimo, máximo e ponto de pedido para os 58 itens operacionais, identificando o *status* de cada material em relação aos limites definidos para prevenção de rupturas. Foram encontrados 25 itens abaixo do estoque mínimo, distribuídos entre todos os setores consumidores, ou seja, grande parte dos itens essenciais para o funcionamento diário da academia encontravam-se em situação de alerta, exigindo reposição imediata.

Na Figura 6 é possível visualizar os itens identificados abaixo do nível considerado seguro, juntamente com seus respectivos saldos e parâmetros de controle.

Código	Produto	Quantidade de Entrada	Quantidade de Saída	Saldo	Estoque Mínimo	Estoque Máximo	Ponto de Pedido	Custo Médio	Custo Total
CP-001	Cafê extraforte Bom Jesus 500g	11	7	4	11	21	19	R\$ 26,99	R\$ 296,89
CP-002	Chá mate Kinino 250g	12	8	4	9	18	15	R\$ 16,59	R\$ 199,08
LP-002	Desinfetante Alpes 2L	9	7	2	7	14	12	R\$ 6,99	R\$ 62,91
LP-004	Sabão em pó Qualimp 4kg	4	4	0	3	6	4	R\$ 14,99	R\$ 59,96
LP-006	Água sanitária Suprema 5L	4	4	0	3	6	5	R\$ 10,54	R\$ 42,16
LP-007	Água sanitária Triex 5L	4	3	1	3	6	5	R\$ 12,58	R\$ 50,32
LP-010	Saco plástico de lixo Embalixo 50 litros	7	5	2	5	10	8	R\$ 14,97	R\$ 104,79
PN-003	Elevador de alcalinidade Hidroazul 2kg	8	8	0	7	14	12	R\$ 28,39	R\$ 227,12
PN-004	Algicida de manutenção Genco 1L	6	6	0	7	14	12	R\$ 22,65	R\$ 135,90
PN-005	Clarificador Genco 1L	9	7	2	8	16	14	R\$ 21,00	R\$ 189,00
PN-009	Limpa bordas Limper 1L	4	4	0	6	12	10	R\$ 25,09	R\$ 100,36
PN-010	Clarificante em gel KeepGel 180g	4	4	0	5	10	10	R\$ 41,29	R\$ 165,16
PN-011	Algicida de manutenção Domclor 5L	4	3	1	2	4	3	R\$ 125,00	R\$ 500,00
PN-012	Cloro granulado Genco 10kg	2	1	1	2	4	4	R\$ 214,90	R\$ 429,80
PN-015	Eliminador de manchas e metais Domclor 1L	7	7	0	8	16	14	R\$ 36,90	R\$ 258,30
PN-017	Redutor de pH Dominus Domclor 1L	9	7	2	8	16	14	R\$ 27,28	R\$ 245,52
SC-002	Papel sulfite A4 Chamex 500 folhas	3	2	1	3	6	5	R\$ 25,90	R\$ 77,70
SC-003	Papel sulfite reciclado A4 RevitaPrint 500 folhas	3	2	1	5	10	8	R\$ 29,99	R\$ 89,97
SC-004	Recibo comercial Sidgraph 20 unidades	2	2	0	4	8	6	R\$ 48,90	R\$ 97,80
SC-006	Nota neutra StarOffice	9	8	1	5	10	8	R\$ 2,99	R\$ 26,91
SC-007	Nota neutra Tamoio 5 unidades	2	2	0	3	6	4	R\$ 2,99	R\$ 5,98
SC-009	Tinta refil ciano Masterprint 100ml	2	2	0	2	4	2	R\$ 9,80	R\$ 19,60
SC-011	Tinta refil amarela Masterprint 100ml	1	1	0	2	4	2	R\$ 9,80	R\$ 9,80
SC-012	Envelope plástico A4 Plas 100 unidades	3	2	1	3	6	3	R\$ 29,08	R\$ 87,24
SC-013	Kit 4 litros tinta impressora	1	1	0	1	2	1	R\$ 114,78	R\$ 114,78
Total								R\$ 920,38	R\$ 3.597,05

Figura 6 – Itens do almoxarifado abaixo do estoque mínimo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre os itens críticos observam-se produtos de alto giro, como: desinfetantes; papel A4; materiais de copa; e, principalmente, os insumos de piscina. Esse cenário reforça a necessidade de reposições regulares e de um planejamento mais estruturado das compras. Bertaglia (2017) afirma que a gestão de estoques precisa ser monitorada continuamente para evitar falhas e rupturas. Nesse sentido, a identificação desses materiais evidencia a importância de um controle sistemático, principalmente porque muitos insumos de uso recorrente estavam operando abaixo do limite necessário para garantir continuidade operacional. Esse fato pode ser considerado como um ponto crítico em uma empresa cuja atividade principal é a prestação de serviços, como ocorre na academia estudada.

Itens vinculados diretamente às aulas de natação, como: cloro granulado; algicidas; elevadores de pH; e, demais insumos de tratamento da piscina, são indispensáveis para assegurar condições adequadas de uso da água. Assim, qualquer ruptura nesses materiais compromete o funcionamento interno e consequentemente a entrega do serviço ao cliente, podendo gerar interrupções nas aulas e impactos na satisfação dos alunos.

Apesar de alguns itens apresentarem estoque abaixo do mínimo recomendado, a maior parte dos materiais analisados estava dentro dos limites definidos entre o estoque mínimo e o máximo. Isso mostra

que para muitos produtos, o consumo estava sendo relativamente estável e a reposição estava ocorrendo de forma adequada ao longo dos meses. Mesmo assim, a quantidade considerável de itens em alerta mostrou que o controle manual anteriormente utilizado não era capaz de identificar antecipadamente a proximidade de rupturas, uma vez que, para Bowersox, Closs & Cooper (2009), a gestão eficaz de estoques depende de indicadores capazes de mensurar e monitorar continuamente o consumo, permitindo identificar desvios antes que comprometam o funcionamento das operações, especialmente no caso dos insumos essenciais para a prestação do serviço, o que reforça a importância dos métodos aplicados neste estudo.

4.5 SISTEMA AUTOMATIZADO DE GESTÃO

Como etapa final do estudo, foi entregue à empresa um sistema completo de controle de estoques desenvolvido em planilha automatizada, elaborado para atender tanto os itens da loja quanto os materiais operacionais do almoxarifado. A ferramenta reúne em um único ambiente as funções essenciais para registro, monitoramento, análise e tomada de decisão, substituindo o antigo método informal que a academia utilizava.

A planilha conta com uma aba de cadastro estruturado, no qual é possível registrar todas as informações dos produtos, incluindo código padronizado, categoria, local de armazenagem e fornecedor. Para isso, as prateleiras do almoxarifado foram previamente identificadas, permitindo que a localização física de cada item fosse integrada ao sistema digital. Esse alinhamento entre espaço físico e controle eletrônico reduz o tempo de busca e aumenta a precisão no processo de reposição.

O registro das movimentações também foi automatizado. As abas de entrada e saída permitem o lançamento direto das quantidades movimentadas, armazenando simultaneamente os custos, valores de venda e datas correspondentes. A partir desses dados, a planilha gera uma tela de controle, que apresenta em tempo real o saldo atual de cada item e o compara automaticamente com seus níveis de estoque mínimo e máximo. Esse painel utiliza cores para indicar a situação de cada produto, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

SISTEMA CONTROLE DE ALMOXARIFADO

PRODUTO FORNECEDORES ENTRADA SAÍDA **CONTROLE** COMPRAS CURVA ABC

CONTROLE DE ESTOQUE

ALTO BAIXO ALERTA

	CODIGO	PRODUTO	QNT ENTRADA	QNT SAÍDA	SALDO	ESTOQUE MÍNIMO	CUSTO MÉDIO	CUSTO TOTAL
	CP-001	Café extraforte Bom Jesus 500g	11	7	4	11	R\$ 27	R\$ 297
	CP-002	Chá mate Kinino 250g	12	8	4	8	R\$ 17	R\$ 199
	CP-003	Chá Mate 81 250g	11	8	3	5	R\$ 5	R\$ 60
	CP-004	Açúcar extrafino docesucar 1kg	7	5	2	2	R\$ 3	R\$ 24
	CP-005	Açúcar extrafino Globo 1kg	17	6	11	4	R\$ 5	R\$ 85
	CP-006	Copo plástico 100 un Coprobras 180ml	10	4	6	4	R\$ 7	R\$ 65
	CP-007	Copo plástico 100 un Rosso 80ml	10	5	5	5	R\$ 5	R\$ 45
	CP-008	Adoçante Adocyl 100 ml	10	6	4	4	R\$ 4	R\$ 44
	CP-009	Bolacha MyBit Leite 350g	21	7	14	9	R\$ 5	R\$ 103
	CP-010	Bolacha MyBit Cream Cracker 350g	18	8	10	8	R\$ 5	R\$ 88
	CP-011	Açucar sachê Caravelas 500 unidades	10	5	5	5	R\$ 6	R\$ 55
	LP-001	Desinfetante Suprema 2L	13	9	4	6	R\$ 13	R\$ 167
	LP-002	Desinfetante Alpes 2L	9	7	2	7	R\$ 7	R\$ 63
	LP-003	Detergente Triex 500ml	13	8	5	2	R\$ 3	R\$ 38
	LP-004	Sabão em pó Qualimp 4kg	4	4	0	2	R\$ 15	R\$ 60
	LP-005	Água sanitária Triex 500ml	13	8	5	7	R\$ 8	R\$ 103
	LP-006	Água sanitária Suprema 5L	4	4	0	3	R\$ 11	R\$ 42
	LP-007	Água sanitária Triex 5L	4	3	1	2	R\$ 13	R\$ 50
	LP-008	Multiuso Suprema 500ml	14	6	8	5	R\$ 9	R\$ 128
	LP-009	Multiuso Sany 500ml	15	6	9	5	R\$ 5	R\$ 75
	LP-010	Saco plástico de lixo Embalixo 50 litros	7	5	2	5	R\$ 15	R\$ 105
	LP-011	Papel Toalha Supremo 500g	18	5	13	5	R\$ 13	R\$ 232
	LP-012	Alcool em gel All Clean 5L	4	2	2	3	R\$ 62	R\$ 246
	MN-001	Painel led 18w Avant	17	6	11	4	R\$ 24	R\$ 403
	MN-002	Lubrificante Prófit 1L	4	2	2	2	R\$ 35	R\$ 138
	MN-003	Sensores de segurança	3	2	1	1	R\$ 135	R\$ 405

Figura 7 – Tela de controle do sistema automatizado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em verde, ficam os itens cujo saldo está acima do estoque mínimo; em amarelo, quando está abaixo do estoque mínimo, já em vermelho, ficam os itens em estado de alerta, quando o saldo alcança metade do estoque mínimo, sinalizando necessidade de reposição.

Além disso, a planilha inclui uma aba específica para gestão de compras, que agrupa automaticamente todos os itens em estado de alerta ou abaixo do nível mínimo. Para cada item, o sistema calcula a quantidade necessária para restabelecer o estoque ao nível ideal, facilitando o planejamento de pedidos e evitando compras emergenciais ou desnecessárias. Esse recurso foi especialmente relevante para os itens operacionais, pois trouxe previsibilidade ao consumo interno.

Para o conjunto de produtos da loja, foi desenvolvido também um *dashboard* analítico, que reúne indicadores de desempenho essenciais para apoiar decisões relacionadas as vendas. Nele é possível visualizar métricas como: ticket médio; faturamento por período; comparativo entre quantidade comprada e vendida; melhor e pior mês; total financeiro em estoque; margem de lucro; e, os 10 produtos mais vendidos no período selecionado. O *dashboard* sintetiza informações que antes eram pouco visíveis para a gerência, tornando o acompanhamento mais simples e intuitivo, como mostra a Figura 8.



Figura 8 – *Dashboard* dos itens da loja

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do *dashboard* é possível observar um desequilíbrio relevante entre o valor investido em estoque e o faturamento obtido no período. Enquanto o total comprado alcançou aproximadamente R\$12.600,00, o faturamento registrado foi de cerca de R\$6.300,00, representando que mais da metade do capital investido permaneceu parado nas prateleiras. Além disso, o painel destaca que o valor médio estimado de itens parados em estoque estava próximo de R\$9.000,00, indicando baixa rotatividade e reforçando a necessidade de estratégias para aumentar a saída dos produtos com baixo giro, bem como revisar as quantidades adquiridas mensalmente. Esses indicadores reforçam o papel do *dashboard* como ferramenta de apoio à decisão, permitindo identificar rapidamente gargalos financeiros e operacionais antes não perceptíveis pela empresa.

No caso do almoxarifado, embora a estrutura da planilha seja semelhante, optou-se por não desenvolver um *dashboard*, uma vez que o foco dos itens operacionais não é o faturamento, mas sim o consumo interno, a reposição periódica e o monitoramento dos custos. Assim, o painel de controle desses materiais já é suficiente para garantir a visibilidade necessária e orientar as decisões de compra.

4.6 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo corroboram com a literatura que aponta a fragilidade dos controles informais em micro e pequenas empresas, especialmente no setor de serviços. No cenário inicial da academia analisada, foram identificadas práticas reativas, ausência de padronização, falta de critérios de reposição e baixa confiabilidade das informações de estoque, o que resultava em rupturas frequentes, compras desnecessárias e dificuldade de planejamento financeiro. Esse diagnóstico está alinhado aos

achados de Birk, Fedato e Pires (2021), que destacam que a inexistência de processos estruturados compromete a qualidade dos registros e a tomada de decisão gerencial.

A partir da implementação das ações propostas, observou-se uma mudança significativa no controle dos materiais, com aumento da acuracidade das informações, maior visibilidade sobre os itens críticos e redução do risco de ruptura. Esse avanço confirma a argumentação de Souza (2013), ao afirmar que pequenas empresas dependem de procedimentos claros, monitoramento sistemático e indicadores objetivos para alcançar estabilidade operacional e financeira. No caso estudado, a transição de um controle informal para um sistema estruturado permitiu que decisões antes baseadas na percepção passassem a ser fundamentadas em dados.

Os achados também dialogam com Costa e Souza (2018), que identificam a gestão informal como uma das principais fragilidades das academias, impactando diretamente a qualidade do serviço e a previsibilidade operacional. Neste estudo, ficou evidente que a desorganização não se limitava à área administrativa, mas afetava diretamente a prestação do serviço, especialmente no que se refere aos insumos da piscina, essenciais para a continuidade das aulas de natação. A definição de estoque mínimo, máximo e ponto de pedido mostrou-se fundamental para mitigar esse risco, reforçando a importância da gestão de estoques como elemento estratégico em empresas prestadoras de serviço.

Em relação a entrega do sistema, Silva (2025), desenvolveu um catálogo digital, demonstrando que tecnologias simples são capazes de reduzir retrabalhos e aumentar a integridade dos dados, efeitos igualmente observados no sistema automatizado de estoque implementado na academia. Da mesma forma, Parra e Cardoso (2025) identificam que academias de pequeno porte ainda utilizam controles manuais fragmentados, reforçando a necessidade de informatização para aprimorar rotinas internas. Entretanto, há divergências quanto ao escopo, uma vez que os autores citados se concentram em matrículas, treinos e pagamentos, enquanto este estudo amplia a literatura ao incorporar a gestão de estoques como elemento estratégico da prestação de serviços. Como limitação, destaca-se a dependência do correto preenchimento da planilha pelos colaboradores, fator que pode impactar a confiabilidade das informações caso não haja disciplina operacional contínua.

5. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e implementar um sistema estruturado de gestão de estoques para uma academia, enfrentando problemas como ausência de padronização, divergências de inventário e falta de visibilidade sobre níveis de consumo e reposição. Para isso, foram seguidas etapas envolvendo mapeamento dos setores, inventário físico, criação de codificação, reorganização do

almoxarifado, aplicação dos cálculos de estoque mínimo, máximo e ponto de reposição, além da utilização da Curva ABC para os itens da loja.

Os resultados demonstraram avanços expressivos na organização, no controle e na transparência das informações de estoque. A Curva ABC aplicada aos itens da loja mostrou que apenas uma pequena parcela dos produtos responde pela maior parte do faturamento, enquanto a maioria permanece com baixo giro, informação essencial para tomada de decisões. No almoxarifado, foi possível identificar itens críticos com risco de ruptura, especialmente insumos da piscina, fundamentais para a continuidade das aulas. A planilha automatizada entregue consolidou todos esses elementos em um sistema de acompanhamento diário, facilitando reposições, evitando compras desnecessárias e ampliando a capacidade gerencial da empresa.

Este estudo, contudo, apresenta algumas limitações: não foi possível avaliar dados históricos mais amplos e acompanhar o comportamento do estoque ao longo de um período maior após a implantação. Assim, recomenda-se que pesquisas futuras explorem modelos preditivos, para prever o comportamento do estoque; comparação entre políticas de reposição, como revisão contínua e periódica; e, análises de custo-benefício e integração do sistema a plataformas digitais mais robustas. Ainda assim, as ações implementadas já oferecem melhorias práticas imediatas, fortalecendo o planejamento, reduzindo desperdícios e aumentando a confiabilidade das operações internas da academia.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, F. H. O. D., & Sampaio, M. (2014). Identificação dos fatores que afetam a ruptura de estoque utilizando análise de agrupamentos. *Production*, 24, 57-70.
- Bertaglia, P. R. (2017). *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. Saraiva Educação SA.
- Birk, M., Fedato, G. A. D. L., & Pires, V. M. (2020). os artefatos contábeis (re) produzidos pela academia para os pequenos negócios. *Revista da Micro e Pequena Empresa*, 14(3), 105-119.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., Cooper, M. B., & Bowersox, J. C. (2013). *Gestão logística da cadeia de suprimentos*. AMGH Editora.
- Brandalise, L. (2017). *Administração de materiais e logística*. Simplíssimo.
- Cardoso, D. S., & De Brito, C. S. (2022). Gestão empresarial-um estudo de caso em uma academia de musculação de Cuité de Mamanguape-PB. *Revista Campo do Saber*, 8(1).
- Carvalho, R. B. (2016). Estoque de segurança aplicado a curva ABC de demanda.
- Caxito, F. (2011). *Logística: um enfoque prático*. São Paulo: Saraiva, 221.
- Chiaretto, S., Albuquerque, L. B., & Carneiro, T. R. (2021). Um Estudo sobre os impactos da gestão de estoques nas instituições hospitalares. *Revista Científica Faculdade Unimed*, 3(2), 105-128.

Ching, H. Y. (2010). *Gestão de estoques na cadeia de logística integrada-supply chain*. Editora Atlas SA.

Costa, R. A., & de Souza, M. A. V. (2018). A gestão empresarial e a sua importância para as academias de ginástica. *Revista Interdisciplinar científica aplicada*, 12(2), 40-61.

De Oliveira, G. F., Da Silva, A. M., Dos Santos, M. C. R., & Barduchi, P. A. (2022). Curva ABC e Kanban, Ferramentas de gestão de estoque: estudo de caso em uma empresa multinacional de sistemas de fixação. *Journal of Technology & Information (JTnI)*, 2(2).

Dias, M. A. P. (2010). *Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão*. Editora Atlas SA.

Johann, A. R. G., Johann, E. R., Johann, E. R., Miotti, D., & Duclos, L. C. (2015). Avaliação de um Sistema de Gestão de Estoque numa Empresa do Segmento de Peças de Reposição de Máquinas Agrícolas. *Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 14) Año 2015*.

Ludwig, J. P., Paloschi, R. B., SOUZA, J. D., Schein, S., & Guarnieri, A. B. (2015). Modelo de gestão e dimensionamento de estoque intermediário em indústria do setor moveleiro: um estudo de caso.

Marquesini, J. C. (2023). Proposta de melhoria de layout na gestão de estoque: Estudo de caso em uma loja de produtos agropecuários.

Martins, P. G., & Alt, P. R. C. (2017). *Administração de materiais e recursos patrimoniais*. Saraiva Educação SA.

Nunes, R. D. P. T. G., Junior, M. W. J. S., & Gomes, T. C. (2022). Implementação de ferramentas da qualidade para gestão de estoque em uma loja de conveniência. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 8(2), 62-78.

Oliveira, P. M., Souza, R. D. S., Silva, F. M. C., Lacerda, V. S. S., & Pereira, D. H. (2016, October). Os desafios para gestão de estoques em micro e pequenas empresas: um estudo de caso. In *XIII Congresso de Excelência em Gestão e Tecnologia, Resende-RJ*.

Orobia, L. A., Nakibuuka, J., Bananuka, J., & Akisimire, R. (2020). Inventory management, managerial competence and financial performance of small businesses. *Journal of Accounting in Emerging Economies*, 10(3), 379-398.

Paoleschi, B. (2014). *Estoques e armazenagem*. São Paulo: Érica.

Parra, L. S.; Cardoso, G. O. C. (2025). Sistema de gerenciamento de academia: proposta de informatização para controle de alunos e rotinas internas. Centro Paula Souza – CPS.

Ramos, J. P. (2019). Gestão de estoques: estudo de caso em uma importadora. Engenharia de Produção-Pedra Branca.

Rodrigues, J. B. (2023). A importância do estoque mínimo para as organizações.

Santa Ana, M. D. F. (2021). A curva ABC na gestão de estoque. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 53737-53749.

Santoro, M. C., & Freire, G. (2008). Análise comparativa entre modelos de estoque. *Production*, 18, 89-98.

Silva, V. V. (2025). Catálogo digital para gestão de produtos (Trabalho de Graduação, Faculdade de Tecnologia de Franca “Dr. Thomaz Novelino”, Centro Paula Souza).

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). *Administração da produção* (Vol. 2). São Paulo: Atlas.

Sousa, A. P. D. S., Petri, S.M., & Camargo, A.D.S. (2023). Estudo de caso sobre a importância de sistema de informação gerencial em micro e pequenas empresas do comércio.

Souza, C. L. M. P. D. (2013). *Implantação de planejamento e controle financeiro: o caso da Evidance, Academia de Dança* (Bachelor's thesis, Administração).

Wallace Nóbrega, L. O. P. O., de Sousa AMORIN, G., LEITE, I. L., & FRANCISCO, E. (2016). Gestão de Processos: Estoque de Segurança Ideal. *Revista ESPACIOS* | Vol. 37 (Nº 26) Año 2016.