

Estudos em Engenharia & Inovação

Volume 11

Organizadores:

Thiago Santana de Oliveira

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Ronaldo de Jesus Barros

Ivone Ascar Sauáia Guimarães

2025

Thiago Santana de Oliveira
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Ronaldo de Jesus Barros
Ivone Ascar Sauáia Guimarães
(Organizadores)

ESTUDOS EM ENGENHARIA & INOVAÇÃO

VOLUME 11

EDITORA PASCAL
2025

Editor Chefe: Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte: Marcos Clyver dos Santos Oliveira

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Dr. Will Ribamar Mendes Almeida

Dr. Raimundo Luna Neres

Dr. Raimundo José Barbosa Brandão

Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior

Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia

Dr. Wellinton de Assunção

Dr. Moisés dos Santos Rocha

Dr. José Ribamar Santos Moraes Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48c

Coletânea Estudos em engenharia e inovação / Thiago Santana de Oliveira, Mirian Nunes de Carvalho Nunes, Ronaldo de Jesus Barros e Ivone Ascar Sauáia Guimarães (Org). São Luís - Editora Pascal, 2025.

139 f. : il.: (Estudos em engenharia e inovação; volume 11)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-6068-182-8

D.O.I.: 10.29327/5653350

1. Engenharia. 2. Tecnologia. 3. Inovação. 4. Miscelânea. I. Oliveira, Thiago Santana de. II. Nunes, Mirian Nunes de Carvalho. III. Barros, Ronaldo de Jesus. IV. Guimarães, Ivone Ascar Sauáia. V. Título.

CDU: 621.7::330.341.1

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2025

APRESENTAÇÃO

Vivemos uma era marcada por transformações tecnológicas profundas, nas quais a Engenharia ocupa posição central no enfrentamento dos novos desafios e na construção de soluções inovadoras. O avanço da Indústria 4.0, com seus sistemas de digitalização, automação e conectividade, está remodelando o cenário produtivo global. Nesse contexto, os profissionais da engenharia são chamados a desenvolver competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais, que os tornem aptos a liderar mudanças e a propor estratégias eficazes frente a um mercado cada vez mais competitivo e dinâmico.

As fábricas inteligentes, capazes de prever falhas, adaptar-se rapidamente às demandas e otimizar seus processos, exigem engenheiros com visão sistêmica e domínio de tecnologias emergentes. Esses profissionais assumem o papel de protagonistas na tomada de decisões estratégicas, na gestão eficiente dos recursos e na promoção da sustentabilidade dentro das organizações.

No Brasil, embora os avanços rumo à Indústria 4.0 ocorram de forma gradual, a transformação digital já se apresenta como uma necessidade urgente. Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), boa parte dos setores industriais do país ainda enfrenta atraso na adoção de tecnologias digitais, o que impacta diretamente na produtividade e competitividade. Cabe aos engenheiros impulsionar esse desenvolvimento, difundindo conhecimento técnico-científico, propondo melhorias estruturais e promovendo metodologias de produção inteligente e sustentável.

Foi com esse espírito de inovação, compromisso acadêmico e consciência do papel transformador da engenharia, que surgiu este livro. *Estudos em Engenharia e Inovação* reúne uma coletânea de trabalhos de conclusão de curso (TCC) elaborados por alunos das engenharias da Faculdade Anhanguera de São Luís, Maranhão. A obra contempla temas relevantes nas áreas de engenharia ambiental, engenharia de produção, engenharia mecânica, engenharia elétrica, engenharia química e engenharia de controle e automação, com enfoque em processos produtivos, manutenção industrial, computação, comunicação, redes, Internet das Coisas (IoT), resíduos sólidos, segurança do trabalho, sustentabilidade, projetos e outras áreas afins.

Cada capítulo reflete o esforço investigativo, a capacidade analítica e a criatividade dos futuros engenheiros, oferecendo contribuições significativas para o aprimoramento dos processos industriais e para a construção de um futuro mais tecnológico, sustentável e inovador.

Convidamos você, leitor, a mergulhar neste compêndio de ideias, soluções e perspectivas que traduzem a evolução do pensamento acadêmico e sua aplicabilidade no mundo real. Que esta leitura inspire novos caminhos e fortaleça o compromisso com o desenvolvimento da engenharia brasileira.

Boa leitura!

Eduardo Mendonça Pinheiro

Doutor em Agroecologia, especialista em Engenharia de Produção e professor da Universidade Estadual do Maranhão

ORGANIZADORES

Thiago Santana de Oliveira

Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Maranhão (2004), com mestrado em Engenharia de Materiais (2016), na mesma instituição. Atuou como profissional nas áreas de siderurgia e gerenciamento de frota de veículos e equipamentos a diesel, com bons conhecimentos nas ferramentas de gestão da manutenção e produção. Ministra aulas desde 2005, sendo a experiência inicial no ensino médio e técnico. Atualmente, trabalha no ensino superior, onde possui experiência de 10 anos, e técnico, ocupando os cargos de docente e coordenador de curso. Responsável pela organização de eventos na instituição e gestão de documentação dos cursos que coordeno. Possui importantes publicações na área.

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Pós-Graduada em Gestão Educacional pela Faculdades Integradas Potencial - FIP - Cotias - SP; em Arte, Educação e Tecnologias Contemporâneas pela Universidade de Brasília - UnB e em Docência do Ensino Superior pela Universidade Candido Mendes RJ. Graduada em Desenho Industrial pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Graduada em Formação Pedagógica de Docentes para as áreas do Ensino Médio e Profissionalizante pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA. Exerço cargo de Professora na Faculdade Anhanguera São Luís - MA, ministrando disciplinas da área de Desenho Técnico em programas computacionais (AutoCAD, Inventor, REVIT). Atuo com apoio à Orientação de TCC. Atuei como Professora EaD pela UEMANET.

Ronaldo de Jesus Barros

Possui formação técnica em Mecânica Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA (2012); Graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade Pitágoras de São Luís (2019); Especializações em Engenharia de Materiais (2021) e Docência do Ensino Superior (2021), ambas pela Universidade Norte do Paraná. Atualmente (2024), cursa os semestres finais do Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Anhanguera de São Luís, graduação acelerada devido a aproveitamento de estudos e com conclusão prevista para o primeiro semestre de 2025.

Ivone Ascar Sauáia Guimarães

Possui graduação em Tecnologia em Processamento de Dados (2000), especialização em Gestão em Tecnologia e Negócios em Telecomunicações (2001) e Mestrado em Educação pela Universidade Católica de Brasília (2011), com pesquisa em Educação a Distância e inclusão social. Atualmente cursa licenciatura em Letras (conclusão prevista para 2025). Atua há mais de 18 anos como docente em cursos de graduação nas áreas de Informática, Engenharia, Administração e Educação, lecionando disciplinas ligadas a TI, EAD e Metodologia Científica. Lecionou na Universidade Ceuma (2003–2020), onde integrou o NusTI, além de conselhos acadêmicos e núcleos de curso. Foi docente na Devry São Luís (2015–2017) e instrutora de informática no SENAI. Atualmente dedica-se à consultoria em normalização, mentoria acadêmica, produção de conteúdo digital e atuação como conteudista em diversas instituições. Também orienta projetos de MBA (XP Educação/IGTI), exerce tutoria técnica no Senar e superior no Uemanet, além de lecionar em Ciência da Computação na Faculdade Anhanguera de São Luís, onde coordena o CodeFlow Collab Hub..

SUMÁRIO

SEÇÃO: CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

CAPÍTULO 1	10
------------------	----

FUTURO DAS REDES: O USO DA IOT PARA VIABILIZAR O TRABALHO LOGÍSTICO

Caio Juan dos Santos Ferreira

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Ivone Ascar Sauáia Guimarães

CAPÍTULO 2.....	21
-----------------	----

SEGURANÇA CIBERNÉTICA EM DISPOSITIVOS MÓVEIS

Genésio Antônio Frazão Júnior

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Wagner Elvio de Loiola Costa

CAPÍTULO 3.....	29
-----------------	----

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL CONVERSACIONAL: CHATBOTS E ASSISTENTES VIRTUAIS

Philip Moreira Borges

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

SEÇÃO: ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

CAPÍTULO 4	38
------------------	----

AUTOMAÇÃO: IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0

Renan Azevedo Lima

SEÇÃO: ENGENHARIA MECÂNICA

CAPÍTULO 5.....	47
-----------------	----

A IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO CONTEXTO DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Mateus Conceição Lopes

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

CAPÍTULO 6.....	57
-----------------	----

MANUTENÇÃO PREVENTIVA E OS IMPACTOS FRENTE A PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

Leonardo Carvalho Mendes

CAPÍTULO 7.....	67
ANÁLISE COMPARATIVA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE MOTORES OTTO E DIESEL: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	

Aldenir Joaquim Oliveira Vieira

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Ronaldo de Jesus Barros

CAPÍTULO 8	77
MATERIAIS AVANÇADOS USADOS NA ENGENHARIA AEROESPACIAL: METAIS E COM- PÓSITOS	

Nathalia Pederiva Sá Sales

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Ronaldo de Jesus Barros

CAPÍTULO 9.....	86
MODERNIZAÇÃO DA SOLDAGEM MIG/MAG POR APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS ROBÓ- TICAS	

Rosiel Gomes Nascimento

Ronaldo de Jesus Barros

CAPÍTULO 10.....	98
SGI: SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO, UM PANORAMA GERAL	

Elcilane Rodrigues Alves

Flavio Henrique de Jesus Campos

SEÇÃO: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAPÍTULO 11.....	110
MELHORIA DO PROCESSO DE LOGÍSTICA DE DESCARTE DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	

Wyllington dos Santos Silva

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Ramaiany Carneiro Mesquita

CAPÍTULO 12	119
LEAN MANUFACTURING NA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA DO BRASIL: UMA REVISÃO SIS- TEMÁTICA DA LITERATURA	

Gleycy da Silva Coimbra

Mirian Nunes de Carvalho Nunes

Wagner Elvio de Loiola Costa

SEÇÃO: ENGENHARIA QUÍMICA

CAPÍTULO 13	131
PRÁTICAS MODERNAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA COM ÊNFASE EM SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA NO SETOR X	
Joebersson Castro Baldez	

CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO





FUTURO DAS REDES: O USO DA IOT PARA VIABILIZAR O TRABALHO LOGÍSTICO

FUTURE OF NETWORKS: USING IOT TO ENABLE LOGISTICS WORK

Caio Juan dos Santos Ferreira
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Ivone Ascar Sauáia Guimarães

1

Resumo

Este estudo investiga como a Internet das Coisas (IoT) pode otimizar a eficiência dos processos logísticos, substituindo convenções manuais por soluções automatizadas. O problema central aborda a necessidade de maior controle e eficiência na cadeia de suprimentos, que podem ser comprometidas por operações manuais. O objetivo principal foi compreender de que forma a implementação da IoT em empresas de transporte pode aprimorar o controle operacional e reduzir a intervenção humana. Utilizando uma metodologia de revisão bibliográfica qualitativa, foram analisadas publicações acadêmicas de diversas bases de dados, publicadas entre 2004 e 2024. A pesquisa conclui que a IoT é fundamental para a transformação logística, aprimorando significativamente o controle operacional, reduzindo falhas humanas e aumentando a eficiência geral o fluxo logístico. Os resultados reafirmaram a importância da tecnologia para automatizar processos, minimizar equívocos humanos decorrentes do cansaço e da sobrecarga cognitiva, e otimizar recursos. Por fim, o estudo sugere a necessidade de adaptação profissional frente a estas mudanças tecnológicas e indica a relevância de futuras pesquisas com dados empíricos para validar os achados teóricos apresentados.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT), Logística, Automação, Tecnologia.

Abstract

This study investigates how the Internet of Things (IoT) can optimize the efficiency of logistical processes by replacing manual conventions with automated solutions. The central issue addresses the need for greater control and efficiency in the supply chain, which can be compromised by manual operations. The main objective was to understand how the implementation of IoT in transportation companies can enhance operational control and reduce human intervention. Using a qualitative bibliographic review methodology, academic publications from various databases published between 2004 and 2024 were analyzed. The research concludes that IoT is fundamental to logistical transformation, significantly improving operational control, reducing human error, and increasing overall logistical flow efficiency. The results reaffirmed the importance of technology in automating processes, minimizing human mistakes caused by fatigue and cognitive overload, and optimizing resources. Finally, the study suggests the need for professional adaptation in response to these technological changes and highlights the relevance of future research with empirical data to validate the theoretical findings presented.

Keywords: Internet of Things (IoT), Logistics, Automation, Technology.



1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IoT) destacou-se nos últimos anos como uma revolução tecnológica que conecta dispositivos físicos à internet, permitindo a troca de dados em tempo real. Na área da logística, essa tecnologia aprimorou significativamente a gestão das cadeias de suprimentos e o controle do transporte, tornando os processos mais inteligentes, ágeis e eficientes.

A influência da IoT no setor logístico mostrou-se notável, especialmente pela capacidade de proporcionar maior visibilidade e controle sobre ativos e processos. A integração de sensores e dispositivos conectados possibilitou o monitoramento constante do status e da localização de mercadorias, otimizando o planejamento de rotas, a gestão de estoques e a previsão de demanda. Essa transformação digital impulsionou a logística rumo a uma abordagem mais preditiva e eficiente.

Além da melhoria operacional, a IoT catalisou mudanças significativas na cadeia de valor logística, automatizando tarefas repetitivas e permitindo decisões mais rápidas e fundamentais em dados. A possibilidade de coletar e analisar grandes volumes de informações de forma instantânea favoreceu a implementação de estratégias proativas e adaptáveis, contribuindo para a redução de custos e para o aprimoramento da qualidade dos serviços prestados aos clientes.

O gerenciamento eficaz da informação demonstrou ser um fator estratégico no processo decisório. Segundo Prates e Ospina (2004), a eficiência operacional está associada à otimização dos recursos humanos, materiais e tecnológicos. Nesse contexto, a IoT configurou-se como uma aliada, ao viabilizar o monitoramento em tempo real por meio de dispositivos conectados, proporcionando maior controle e agilidade nas operações logísticas.

No contexto social e acadêmico, a pesquisa sobre a IoT na logística pode trazer diversas contribuições. Por um lado, promove a inovação tecnológica em um setor-chave da economia, estimulando o desenvolvimento de soluções inteligentes e sustentáveis para os desafios logísticos modernos. Por outro lado, ao otimizar a eficiência e reduzir os impactos ambientais das operações de transporte, a pesquisa pode reduzir emissões. Em suma, a pesquisa sobre essa tecnologia na logística não só avança o conhecimento teórico, mas também viabiliza soluções práticas e benefícios sociais.

Diante desse cenário, buscou-se responder ao seguinte questionamento: como a implementação estratégica da Internet das Coisas (IoT) pode otimizar a eficiência dos processos logísticos?

Este trabalho teve como objetivo geral compreender como a implementação da Internet das Coisas (IoT) pode otimizar processos logísticos atualmente manuais em empresas de transporte, visando maior controle operacional. Contou-se ainda com três objetivos específicos, sendo eles: identificar os tipos de transportes logísticos; compreender o funcionamento e os componentes da tecnologia RFID no contexto da IoT aplicada à logística; comparar a eficiência de processos logísticos automatizados por IoT com os de execução manual.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa de natureza qualitativa, com base em revisão bibliográfica. A investigação teve como objetivo reunir e analisar publicações acadêmicas relacionadas à aplicação da Internet das Coisas (IoT) no contexto da logística de transportes. Para isso, foram consultadas fontes científicas e acadêmicas, como artigos, livros e documentos técnicos, que abordam diretamente o tema proposto.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados *Google Scholar*, *Scopus* e *Web of Science*, por meio do uso de descritores como “Internet das Coisas”, “IoT”, “logística”, “tecnologia na logística” e “transporte inteligente”. Foram selecionadas publicações em português, inglês e espanhol, respeitando o critério de inclusão de textos completos publicados entre os anos de 2004 e 2024, a fim de garantir atualidade e diversidade nas perspectivas analisadas.

Foram excluídos da análise artigos de opinião, resumos simples, publicações duplicadas e materiais sem respaldo acadêmico. A seleção dos textos seguiu critérios de relevância para o tema e qualidade da fonte, priorizando obras que contribuem para o entendimento teórico e prático da IoT na logística. A organização e interpretação dos dados obtidos ocorrem de forma descritiva, com ênfase na comparação entre diferentes abordagens e na síntese dos principais achados.

2.2 Resultados e Discussão

A Internet das Coisas (IoT) é um conceito que conecta dispositivos e objetos físicos à Internet, aos usuários e entre si, utilizando sensores inteligentes e software para coletar, transmitir e gerenciar dados em rede. Essa conexão entre o físico e o digital cria um ecossistema inteligente que coleta dados estratégicos sobre operações, consumo e hábitos, impulsionando automação, otimização de processos e decisões mais precisas em múltiplas áreas (Silva *et al.*, 2023).

Desse modo, o conceito trabalhado está transformando diversos aspectos da vida e da indústria ao conectar o mundo físico ao digital. Apesar dos desafios, as vantagens e inovações proporcionadas pela IoT prometem um futuro mais eficiente, seguro e inteligente. Com o contínuo avanço tecnológico, as aplicações e impactos da IoT devem se expandir ainda mais, moldando a maneira como vivemos e trabalhamos.

De acordo com Mukai *et al.* (2007), a logística é uma função operacional crucial que abrange todas as atividades necessárias para adquirir e gerenciar matérias-primas e componentes, bem como para lidar com os produtos acabados, incluindo seu empacotamento e distribuição aos clientes.

Além disso, é vista como o processo de gerenciar de forma estratégica o fluxo e armazenamento eficiente de matérias-primas, estoques em processo e produtos acabados, desde sua origem até o consumidor final. Em suma, a logística refere-se ao movimento dos produtos certos na quantidade adequada para o local correto no momento oportuno.

Segundo Carvalho (2004), a logística é fracionada em dois tipos de tarefas: principais e secundárias. Sendo transportes, manutenção de estoques e processamento de pedidos as tarefas principais. Já o armazenamento, manuseio de materiais, embalagem, obtenção/compras, programação de produtos e sistema de informação são tarefas secundárias.



Segundo Keeidi (2011), no início da era administrativa, a transportação de materiais ocorria com a própria tração humana que carregavam os utensílios em seus braços, a fim de facilitar o trabalho do homem surgiram tecnologias de transporte que revolucionaram essa dinâmica.

Transporte refere-se aos vários métodos para movimentar produtos. É a atividade logística mais importante, absorve em média de um a dois terços dos custos logísticos e é também essencial pois nenhuma empresa moderna pode operar sem movimentar matérias primas ou produto acabado de alguma forma (Pozo, 2010).

O transporte é uma peça-chave na logística, encarregado de movimentar produtos e mercadorias ao longo de toda a cadeia de suprimentos, desde a origem até o destino final. É uma etapa crucial e visível da logística, já que afeta diretamente a velocidade, o custo e a eficácia das entregas. Existem diferentes modais de transporte que podem ser utilizados, como o rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo, cada um com suas características, vantagens e limitações.

O modal escolhido depende de diversos fatores, como a distância a ser percorrida, o tipo de carga, a urgência da entrega, o custo envolvido e as condições de infraestrutura disponíveis. Independentemente do modal selecionado, é crucial planejar e coordenar as operações de transporte de forma eficaz.

Com o avanço da Revolução Industrial, surgiram os primeiros veículos motorizados, como locomotivas a vapor e os primeiros automóveis, que marcaram uma nova era no transporte de materiais e pessoas, promovendo maior eficiência e velocidade nos deslocamentos. Realizado exclusivamente em estradas, Keeidi (2011) declara que devido à sua versatilidade e abrangência este tipo de transporte é amplamente preferido em comparação com outras modalidades de condução de carga.

Conforme Mello (2000) o transporte rodoviário se distingue por algumas características particulares atribuídas ao uso do caminhão, este oferece a vantagem de viabilizar o transporte de mercadorias “de porta em porta”, o que se configura como uma das principais vantagens desse meio de transporte. O autor enfatiza também a sua acessibilidade financeira inicial, a sua adaptabilidade, a liberdade na seleção de rotas e as diversas capacidades de carga disponíveis, fatores que têm impulsionado a sua ascensão à posição de destaque que ocupa atualmente.

A transportação de insumos por rodovias passa por uma transformação significativa, tornando-se uma parte crucial da logística e assumindo um papel estratégico nas operações das empresas. Anteriormente, o custo do transporte era considerado um componente relativamente simples de ser repassado para o preço final do produto. No entanto, nos dias atuais, o cenário é diferente, e o custo do transporte pode representar a diferença entre o lucro e o prejuízo para uma empresa (Macohin, 2001).

Portanto, torna-se evidente a importância estratégica do transporte rodoviário na atualidade, nesse sentido, a integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a automação, pode ser um diferencial para a eficiência operacional e a alavancagem das empresas no cenário logístico atual, garantindo uma posição sólida no mercado e oferecendo qualidade nos serviços aos clientes.

O sistema de transporte ferroviário utiliza-se de linhas férreas para mover mercadorias e passageiros entre diferentes locais. Desde a sua expansão inicial durante a Revolução Industrial, as ferrovias têm sido essenciais para impulsionar o crescimento econômico e a conectividade global. Ao longo dos anos, as redes ferroviárias foram ampliadas e modernizadas para atender às demandas crescentes de locomoção.

Para Coeli (2004), o modal ferroviário consome quatro vezes menos combustível do que o rodoviário, sendo assim, uma opção mais benéfica para o transporte de mercadorias em trajetos extensos. A respeito de sua flexibilidade, Martins e Laugení (2006, p. 271) dissertam que

O transporte ferroviário tem custo baixo, porém não tem muita flexibilidade e os prazos de entrega são longos e variáveis, além de haver necessidade em alguns casos, de baldeação para troca de trem, pois há ferrovias que possuem bitola estreita, enquanto outras possuem bitola larga. Este tipo de transporte é indicado para grandes quantidades de produtos, longas distâncias e produtos não perecíveis e não frágeis.

Dessa forma, o setor em questão apresenta algumas divergências que impedem de ser uma grande alternativa para outras rotas de materiais. Esse sistema modal foi um dos mais utilizados no processo de locomoção, meados da década de 1990, e foi perdendo sua participação tanto na relação de transporte pessoal quanto de carga, sendo necessário o uso de outros meios de locomoção para atingir o alvo de entrega do suprimento.

A modalidade hidroviária aproveita o recurso natural mais abundante disponível no planeta como o meio para efetuar a transposição, a água. Compreende-se como o transporte por mares (marítimos), lagos (lacustre) e por rios (fluvial), geralmente utilizado para a locomoção de matérias-primas, como petróleo, carvão, minérios de ferro, granéis sólidos e bens de alto valor (operadores internacionais) em contêineres.

A necessidade de transpor cursos d'água é destacada pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (Syndarma, 2013), que ressalta a vasta extensão costeira navegável do Brasil, estendendo-se por cerca de 7.600 quilômetros. Isso é particularmente relevante considerando a concentração das principais cidades, centros industriais e grandes polos consumidores ao longo do litoral ou em áreas próximas à costa.

O Brasil apresenta condições favoráveis para o uso do transporte hidroviário, pois possui uma ampla rede de rios navegáveis. Esses rios oferecem uma solução natural para uma das principais limitações deste modal: a restrição geográfica de suas rotas, que são menos extensas em comparação aos demais meios de transporte (Ballou, 2006).

O setor em questão apresenta vantagens significativas, tais como custos operacionais reduzidos e a capacidade de movimentar grandes volumes de carga. Adicionalmente, destaca-se pelo seu menor impacto ambiental, devido à utilização dos próprios recursos oferecidos pelo ambiente, contribuindo para a mitigação das emissões de poluentes.

Conforme Moreira (2022), o transporte aéreo ocorre através de aeronaves, que podem ser de carga, de passageiros ou mistos (conduzindo tanto pessoas quanto cargas). A prioridade desse modal é essencial principalmente quando as mercadorias são leves e pequenas, ou quando exigem uma entrega com urgência, ou ainda quando possuem alto valor agregado.

A maior vantagem desse tipo de locomoção está na alta velocidade, e posteriormente menor tempo de execução em seus processos. Para Ballou (2006, p. 155) “[...] o grande atrativo aéreo é a sua inigualável rapidez entre a origem e o destino, principalmente em grandes distâncias.”, desse modo, hoje em dia, é a melhor opção quando há a necessidade de transposição rápida.

Além de movimentar esses suprimentos com agilidade, apresentam índices de danos e perdas mais baixos, proporcionando maior segurança e confiabilidade, tanto para o cliente que pode acompanhar a situação da sua mercadoria quanto para a empresa que

a partir de análises conseguem mapear rotas e ter uma estimativa do tempo correto da entrega desses suprimentos.

A IoT remete a um conceito relativamente recente que surgiu da convergência de diferentes tecnologias, como sensores inteligentes, sistemas embarcados, comunicação e microeletromecânicos (Atzori *et al.*, 2010). Essa integração permite que objetos do cotidiano possam se conectar à internet, trocando dados de forma autônoma e contínua.

Desse modo, o conceito apresentado está transformando diversos aspectos da vida e da indústria ao conectar o mundo físico ao digital. Apesar dos desafios, as vantagens e inovações proporcionadas pela IoT prometem um futuro mais eficiente, seguro e inteligente. Com o contínuo avanço tecnológico, as aplicações e impactos da IoT devem se expandir ainda mais, moldando a maneira como vivemos e trabalhamos.

Uma das tecnologias fundamentais para viabilizar aplicações práticas da IoT é a Identificação por Radiofrequência (RFID). Segundo Finkenzeller (2010), o RFID utiliza ondas de rádio para capturar e transmitir dados automaticamente entre uma etiqueta eletrônica e um leitor.

Essa tecnologia, desenvolvida inicialmente durante a Segunda Guerra Mundial pelo físico britânico Robert Alexander Watson-Watt, visava a melhoria da identificação de aeronaves amigas por radares militares (Landt, 2005).

Para seu funcionamento, três componentes principais são exigidos para o sistema de RFID, sendo eles: uma etiqueta (*tag*), que contém os dados a serem transmitidos; um leitor, que realiza a emissão de sinais de rádio para capturar esses dados; e um sistema computacional central, responsável pelo processamento de informações recebidas (Want, 2006).

Destaca-se ainda que a Identificação por Radiofrequência (RFID), em ambientes industriais e logísticos, é amplamente utilizada para rastrear produtos, controlar estoques e automatizar operações, contribuindo diretamente para a eficiência da cadeia de suprimentos. Sendo assim, um dos pilares tecnológicos da IoT.

Para a identificação de objetos, por meio da RFID, utiliza-se de uma *tag* ou etiqueta, em que é possível informar a exata localização do usuário em seu deslocamento, isto é, do físico para o virtual. Como descreve Hahn (2012), esse sistema faz o uso de sensores baseados em *tags* que armazenam informações específicas conforme as características do produto ou objeto físico ao qual estão associadas.

O funcionamento das *tags* varia entre dois estados, passivo e ativo, no primeiro caso, as *tags* retiram energia necessárias para comunicação com os leitores RFID a partir do sinal de rádio emitido pelo leitor, no último caso, existe uma fonte de alimentação interna, geralmente uma bateria, de modo que, podem emitir sinais maiores em relação ao alcance.

Esses utensílios têm aplicações importantes na cadeia logística quando usados de modo correto. Podem ser implementados em controle de acesso de segurança, pagamentos, transações, rastreamento de carga, entre outros. Para Want (2006), esses sistemas foram concebidos principalmente para apoiar o crescimento de indústrias de manufatura, melhorar áreas de logística das empresas e otimizar a cadeia de distribuição de recursos.

Já o leitor representa o componente pela emissão e recepção de sinais de rádio, sendo fundamental para o funcionamento do sistema RFID (Finkenzeller, 2010). Podendo ser fixos ou móveis. Essa tecnologia funciona através da fixação de etiquetas em cada item, que contém informações importantes sobre esses bens.

Os leitores móveis podem possuir algum tipo de limitação quando não conectados a um computador, exigindo o uso de energia para melhor funcionalidade. Esta limitação pode ser minimizada por meio da interligação do leitor com um sistema computacional através de uma rede local, permitindo desta forma que tarefas complexas sejam realizadas fora do *hardware* do leitor (Dobkin, 2012).

Dessa forma, quando há a presença de diversas etiquetas no alcance de um leitor, eles responderão todas requisições de modo simultâneo. Como resultado de um número significativo de requerimentos, a margem de possibilidade para haver colisões é alta, desperdiçando energia, largura de banda e tempo.

Enquanto o sistema computacional é o componente responsável pelo processamento de dados pelo leitor. Ele integra o sistema RFID com banco de dados e softwares corporativos, bem como sua transformação de dados em informações úteis (Glover; Bhatt, 2006).

Conforme destacado por Prates e Ospina (2004), as pequenas empresas enfrentam dificuldades na adoção de novas tecnologias em seus processos administrativos e produtivos, apresentando uma absorção limitada dessas inovações. O fenômeno deriva da escassez de ferramentas tecnológicas escaláveis, que consideram as limitações de escala e recursos típicas de pequenos negócios.

A IoT permite a automação integrada das operações logísticas por meio da comunicação entre dispositivos, sensores e sistemas conectados em rede. Com isso, elimina-se a necessidade de intervenção humana em atividades como movimentação de materiais, preparação de pedidos e reabastecimento de estoques, promovendo maior eficiência e redução de custos.

A gestão de estoques tem papel fundamental na logística, sendo responsável por equilibrar a oferta e demanda e representar, em média, dois terços dos custos logísticos (Bowersox *et al.*, 2007). Com o uso de sensores IoT, é possível monitorar em tempo real os níveis de produtos, automatizando os pedidos de reposição.

Segundo Alvarenga e Novaes (2000), a organização de um sistema de transporte exige uma abordagem sistêmica, que envolve planejamento detalhado. Para isso é necessário compreender os fluxos nas diferentes conexões da rede, o nível de serviço atual e o desejado, as características da carga, os tipos de equipamentos disponíveis e suas especificações.

O desempenho operacional está integralmente relacionado à capacidade de gerenciar a cadeia de suprimentos. A utilização de identificadores por radiofrequência (RFID) coleta dados automaticamente, otimizando o rastreamento do produto dá origem ao destino, ou rastreamento de itinerário em tempo real. Isso agiliza inventários, reduz perdas e aumenta eficiência de transportes.

Chaudhari (2019) ressalta que a logística, antes manual, ganhou eficiência com automação e GPS. A incorporação de tecnologias como IoT e inteligência artificial permitiu a gestão em tempo real e redução de custos e erros, enquanto a otimização de rotas ampliou a sustentabilidade e agilidade do setor.

Estudos indicam que empresas têm investido em inovações tecnológicas como diferencial estratégico para mercados voláteis. Isso decorre da percepção de que processos manuais, além de lentos e obsoletos, são vulneráveis a falhas, prejudicando a confiabilidade. Diante disso, a automação surge como resposta ágil para garantir eficiência e competitividade (Campelo *et al.*, 2021).

A implementação eficaz de tecnologias demanda integração sistêmica entre *hardware* e *software* e fluxos operacionais, assegurando compatibilidade e escalabilidade (Chau-

dhari, 2019). Essa harmonização entre níveis organizacionais viabiliza o funcionamento integrado e adaptação a demandas futuras, alinhando inovações a objetivos estratégicos para eficiência e crescimento sustentável em mercados dinâmicos.

Segundo Pollux (2018), por décadas, o transporte de cargas foi realizado manualmente, com operários dedicados exclusivamente a essa tarefa, o que eleva os riscos de problemas de saúde devido ao esforço físico. Diante desse cenário, torna-se indispensável repensar sobre as práticas logísticas tradicionais, buscando alternativas que priorizem a saúde do trabalhador e promovam eficiência nas operações.

Adoção de fusões, tecnologia e *e-commerce* eleva faturamento e lucro, mas incertezas surgem sobre o papel e benefícios do trabalhador. A gestão profissionaliza-se, afastando o modelo familiar. Operacionalmente, a terceirização e o distanciamento dos prestadores de serviço se intensificam.

Para Gonzaga (2004), a virada de chave na entrega de resultados positivos decorrentes do uso da IoT proporcionou uma redução de empregos, os ganhos de produtividade foram um dos fatores determinantes, pois mesmo com total atenção, os humanos estão sujeitos a falhas.

A crescente taxa de desempregos mostrou uma evolução modesta no mercado de trabalho e a demanda de mão-de-obra de setores industriais sofreu, inclusive, uma drástica contração. A adoção de métodos de produção e gerenciamento utilizando tecnologias fez com que o trabalho manual fosse poupado.

O cansaço físico e mental é um fator crucial que eleva os erros humanos, pois prejudica a atenção e a concentração. Em tarefas complexas, a fadiga dificulta a análise precisa de dados, levando a falhas de julgamento e desvios de procedimentos. Esquecimentos e interpretações equivocadas são consequências diretas da exaustão no ambiente de trabalho.

As limitações cognitivas humanas tornam a análise de dados complexos propensa a erros, com memória e atenção limitadas. Sob pressão, vieses cognitivos influenciam a análise, levando a conclusões precipitadas. A sobrecarga de informações dificulta o processamento adequado, aumentando o risco de falhas e omissões.

A automação redefine o mercado de trabalho, substituindo funções repetitivas em setores como produção e serviços por soluções tecnológicas (BESSEN, 2018). Embora empregos operacionais diminuam, demandas em áreas como análise de dados e manutenção de máquinas ampliam-se. Essa dualidade exige investimento em educação técnica para transições profissionais eficazes.

A IoT substitui processos manuais, como gestão de estoques e transporte, com precisão e agilidade, reduzindo erros humanos por fadiga ou limitações cognitivas. A automação otimiza operações e custos, mas exige requalificação profissional ao deslocar funções repetitivas. Assim, integra-se eficiência tecnológica e competências humanas em estratégias sustentáveis e adaptativas.

3. CONCLUSÃO

Com base no estudo, conclui-se que os objetivos propostos foram em sua maioria alcançados. A concepção de que a Internet das Coisas (IoT) pode otimizar processos logísticos manuais foi compreendida a partir de uma revisão teórica sólida, que explorou desde os conceitos fundamentais da IoT até suas aplicações práticas no setor de transportes.

Os principais modais logísticos foram devidamente identificados, analisados os componentes da tecnologia RFID e comparadas as dinâmicas operacionais antes e após a automação. A pesquisa viabilizou uma visão ampla e enriquecedora a respeito dos impactos positivos da IoT na eficiência e controle das operações logísticas.

A abordagem utilizada, pesquisa bibliográfica, apresentou um arcabouço teórico eficiente para responder ao problema do estudo e confirmar sua relevância e efetividade do uso da IoT no contexto logístico, especialmente no que diz respeito à automação de processos e à minimização de erros humanos decorrentes do cansaço e da sobrecarga cognitiva.

Para estudos posteriores, recomenda-se a realização de pesquisas de campo com a efetuação de entrevistas com profissionais atuantes da área estudada, de forma a validar na prática os benefícios teóricos apresentados no presente estudo. Dessa forma, a discussão sobre IoT na logística poderá avançar para além do campo teórico, contribuindo diretamente para inovações sustentáveis e acessíveis no setor.

Referências

- ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística Aplicada – Suprimento e Distribuição Física**. 3a edição. São Paulo: Edgar Blücher, 2000.
- ATZORI, L.; IERA, A. et al. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BESSEN, J. E. **Automation and jobs: when technology boosts employment**. Boston: Boston University School of Law, 2017. (Economics Research Paper, n. 17-09).
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CAMPELO, A.M.; PESSOA, L.E.S.V.; PIRES, R.R.V. **Tecnologia da informação como ferramenta para a logística**. Revista Vox Metropolitana. n. 5, 2021, p. 228-238.
- CARVALHO, J. M. C. **Logística**. 3ª ed. Lisboa: Edições Silabo, 2004.
- CHAUDHARI, N. **Impact of Automation Technology on Logistics and Supply Chain Management**. American Journal of Theoretical and Applied Business. Vol. 5, No. 3, 2019.
- COELI, C. C. M. **Análise de demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte**. Dissertação de Mestrado em Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- DOBKIN, D. M. **The RF in RFID: Passive UHF RFID in practice**. Newnes, Newton, MA, USA, 2012.
- FINKENZELLER, K. **Manual de RFID: Fundamentos e Aplicações em Cartões Inteligentes sem Contato, Identificação por Rádio Frequência e Comunicação de Campo Próximo**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2010.
- GLOVER, B.; BHATT, H. **RFID Essentials**. O'Reilly Media, 2006.
- GONZAGA, G. **The effects of openness on industrial employment in Brazil**, Texto para Discussão No. 362, PUCRJ, novembro, Rio de Janeiro, 2004.
- HAHN, J. The Internet of Things meets the Library of Things. **ACRL TechConnect**, Chicago, 2012.
- KEEIDI, S. **Logística de transporte internacional: Veículo prático de competitividade**. 4ª. ed. São Paulo: Aduaneiras informações sem fronteiras, 2011.
- LANDT, J. A história do RFID. **IEEE Potentials**, v. 24, n. 4, p. 8-11, 2005. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1549751>. Acesso em: 6 abr. 2025.
- MACOHIN, G. A. **De transportador rodoviário de cargas a operador logístico – uma lacuna a ser preenchida**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.



- MARTINS, P. G. LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- MELLO, R. Z. **Alternativas para o posicionamento estratégico das empresas de transporte rodoviário de cargas (ETC): uma abordagem logística**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. UFSC, 2000.
- MOREIRA, K. **Desafios na cadeia logística de importação de produtos perigosos-enfoque em baterias/pilhas de lítio**. 2022.
- MUKAI, H. et al. **Logística Urbanet ala: a proposta brasileira**. Anais do XII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Belém. 2007.
- PRATES, G. A.; OSPINA, M. T. Tecnologia da informação em pequenas empresas: fatores de êxito, restrições e benefícios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 8, n. 2, p. 9-26, 2004.
- POLLUX. **Robôs móveis: qual a sua importância na indústria?** 2018.
- POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- SILVA, N. M. et al. Modelo de negócios baseado na Internet das Coisas: uma análise das oportunidades de novos negócios–revisão de literatura. **Interações (Campo Grande)**, v. 24, n. 2, p. 717-726, 2023.
- SYNDARMA. **Sindicato Nacional das Empresas de Navegação Marítima**. Disponível em: http://www.syndarma.org.br/upload/Estatistica%20de%20navega__o%20maritima%20brasileira%202013.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.
- WANT, R. Uma introdução à tecnologia RFID. **IEEE Pervasive Computing**, v. 5, n. 1, p. 25–33, 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1593568>. Acesso em: 7 abr. 2025.

Resumo

Com a evolução dos dispositivos móveis, bem como o crescente uso da população, a prática de crimes cibernéticos tornou-se uma realidade. A falta de medidas de segurança no contexto dos dispositivos móveis pode levar a sérios riscos, como roubo de dados pessoais, invasão de privacidade, infecção por malware e acesso não autorizado a informações de seus usuários, acarretando em prejuízos e falhas de sistemas operacionais. Para isso, a pesquisa teve como objetivo discutir sobre a importância da segurança cibernética em dispositivos móveis. Tratou-se de uma revisão bibliográfica. As buscas foram realizadas na base de dados da *Scientific Electronic Library Online* – SCIELO e em Revistas Eletrônicas de Ciência da Computação, no qual foram selecionadas pesquisas publicadas entre 2018 e 2024 escritas no idioma português. Através da literatura elencada para esta pesquisa, identificou-se que a importância da adoção de soluções de segurança robustas em dispositivos móveis, como antivírus confiáveis e firewalls. Também recomenda-se o uso de criptografia para dados sensíveis, atualizações regulares de software e foco no gerenciamento de permissões dos aplicativos instalados. Salienta-se por fim, a importância da educação digital, promovendo a conscientização da população sobre riscos cibernéticos e a necessidade de comportamentos mais seguros no uso cotidiano dos dispositivos móveis.

Palavras-chave: Segurança Cibernética. Dispositivos Móveis. Ataques e Ameaças.

Abstract

With the evolution of mobile devices, as well as their increasing use by the population, the practice of cybercrimes has become a reality. The lack of security measures in the context of mobile devices can lead to serious risks, such as theft of personal data, invasion of privacy, malware infection and unauthorized access to user information, resulting in losses and failures in operating systems. To this end, the research aimed to discuss the importance of cybersecurity in mobile devices. This was a bibliographic review. The searches were carried out in the Scientific Electronic Library Online - SCIELO database and in Electronic Journals of Computer Science, in which research published between 2018 and 2024 written in Portuguese was selected. Through the literature listed for this research, it was identified that it is important to adopt robust security solutions in mobile devices, such as reliable antiviruses and firewalls. It is also recommended to use encryption for sensitive data, regular software updates and focus on managing permissions of installed applications. Finally, the importance of digital education is highlighted, promoting awareness among the population about cyber risks and the need for safer behavior in the daily use of mobile devices.

Keywords: Cybersecurity. Mobile Devices. Attacks and Threats.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) em 2023 houve um crescimento de 124% de ataques a dispositivos móveis, comparado ao ano anterior. Desta forma, percebe-se a importância de estudar sobre a necessidade da segurança do ambiente cibernético em dispositivos móveis, haja vista a emergência de ampliar as discussões sobre a adoção de boas práticas de segurança nestes dispositivos.

Não restam dúvidas que ao longo das duas últimas décadas o uso da internet cresceu de forma exponencial, culminando assim em uma verdadeira revolução tecnológica no modo de vida da população. Além de auxiliar nas atividades laborais, os avanços nos ambientes virtuais permitem uma maior democratização do acesso às informações, à educação e até mesmo propiciam ambientes de lazer e entretenimento. No entanto, todo esse avanço proporcionou novas possibilidades da prática de crimes nesses ambientes, ocasionando assim a vulnerabilidade de milhares de usuários que tornam-se vítimas desses ilícitos todos os dias.

A falta de medidas de segurança no ambiente cibernético pode levar a sérios riscos, como roubo de dados pessoais, invasão de privacidade, infecção por malware e acesso não autorizado a informações de seus usuários, acarretando em prejuízos e falhas de sistemas operacionais. É notório que os dispositivos móveis fazem parte da rotina das pessoas na contemporaneidade, o que pode contribuir para ampliação de riscos à segurança das informações pessoais, bancárias e outros dos usuários. A segurança cibernética para dispositivos móveis envolve um conjunto de práticas e medidas projetadas para proteger tanto o dispositivo em si quanto os dados armazenados e transmitidos por ele.

É importante destacar que existem várias áreas-chave que podem ser utilizadas para a minimização de riscos. Uma das ferramentas mais utilizadas é a proteção de dispositivos móveis por meio de senhas fortes e mecanismos de atenção biométrica, como impressão digital ou reconhecimento facial. Faz-se necessário ainda a manter o software do dispositivo atualizado, utilização de criptografia para proteger as informações armazenadas no dispositivo e evitar o compartilhamento de dados sensíveis, como informações de dados bancários e dados pessoais. Estas ações corroboram diretamente a segurança do dispositivo móvel. Assim, teve-se como problemática: qual importância da segurança cibernética para os dispositivos móveis na prevenção?

A pesquisa teve como objetivo geral discutir sobre a importância da segurança cibernética em dispositivos móveis. Em relação aos objetivos específicos, a pesquisa se propõe: destacar as principais ameaças cibernéticas em dispositivos móveis e abordar sobre as principais tecnologias de segurança para dispositivos móveis.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este estudo tratou-se de uma revisão bibliográfica. Através deste tipo de pesquisa, foi possível levantar a literatura necessária para a análise e compreensão da temática proposta. Nesse sentido, o presente estudo foi de cunho qualitativo, a fim de analisar de forma crítica e subjetiva a pesquisa em questão.

As buscas foram realizadas na base de dados da *Scientific Electronic Library Online* –



SCIELO e em Revistas Eletrônicas de Ciência da Computação, que possibilitaram a coleta de informações necessárias através de artigos e periódicos disponibilizados. Deste modo, foram selecionadas pesquisas publicadas entre 2018 e 2024 escritas no idioma português, com os seguintes descritores: segurança cibernética; dispositivos móveis; ataques e ameaças a dispositivos móveis.

2.2 Resultados e Discussão

A utilização de aparelhos móveis tem aumentado relevantemente no mundo inteiro, e o Brasil compõe o quadro dos países que tem maior notoriedade quando falamos no assunto. Com base em dados apresentados pela Anatel, relatam que início do ano de 2024, o quantitativo de aparelhos celulares smartphones aumentou em 99% se comparado com dados apresentados ao ano anterior. Em 2024 a navegabilidade a rede de internet foi consideravelmente maior que o acesso em computadores pessoais. Segundo a *Internacional Data Corporation* (IDC), a comercialização de dispositivos móveis tais como celulares e eletroeletrônicos da mesma natureza tendem continuar subindo, alcançando US\$ 484 bilhões em 2023, porem com uma intensidade menor se equiparado aos anos precedentes.

De acordo com Cabral, Deloski e Stalder (2018) a conectividade nos dispositivos móveis em uma realidade na contemporaneidade. A alta velocidade, como o 4G e 5G, bem como as redes *Wi-Fi* e *Bluetooth*, possibilita a transferência rápida de dados, compartilhamento de informações, o uso de serviços em nuvem e a interação com outros dispositivos. Ademais, os dispositivos móveis possuem outros serviços e funcionalidades, como acesso direto e download disponível para aplicativos e plataformas, além de ferramentas para fotos, vídeos, músicas, transações financeiras, redes sociais e outros.

Contudo, segundo Silva et al., (2021) a rápida evolução dos dispositivos móveis trouxe também ameaças cibernéticas cada vez mais sofisticadas e complexas. Ataques e ameaças no ambiente cibernético, são denominadas “*cybercrimes*” se configura como qualquer conduta ilegal, não ética ou não autorizada que envolva o processamento automático de dados e/ou transmissão de dados. Essa forma de criminalidade apresenta características como transnacionalidade, por ser veiculada virtualmente, com acesso e uso por todos os países; universalidade, por ser um fenômeno de massa e não de elite; e ubiquidade, por estar presente nos setores privados e públicos.

Geralmente, criminosos se utilizam das vulnerabilidades dos usuários de dispositivos móveis para conseguir dados bancários e informações pessoais. Uma das principais ameaças cibernéticas no ambiente móvel é o *malware*. Tratam-se de ferramentas maliciosas que podem ser baixadas em fontes não confiáveis. O *malware* móvel pode roubar informações confidenciais, como senhas e dados financeiros, além de controlar remotamente o dispositivo do usuário (Silva et al., 2021).

Concomitante a esta análise, Vianna e Sousa (2019) explica que o *phishing* móvel também configura-se como uma ameaça a dispositivos móveis. Para os autores, os criminosos virtuais encaminham mensagens de texto falsas, e-mails falsos que se assemelham com os serviços legítimos para enganar os usuários a fornecerem informações confidenciais, como senhas e números de cartão de crédito. Zequim e Ribeiro (2022) enfatizam também que as redes *Wi-Fi* públicas também apresentam um sério risco, uma vez que os *hackers* podem interceptar o tráfego de dados, o que facilita a obtenção de dados dos mecanismos.

Em resposta a essas ameaças, medidas legislativas foram implementadas, foi criada

a Lei 12.965/2014, conhecida como Marco Civil da Internet, cujo objetivo é estabelecer princípios, garantias, direitos e obrigações quanto ao uso da internet no país (Ramos, 2019). O artigo 1º estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para a utilização da internet no território nacional, e estabelece as diretrizes para a atuação da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios nessa matéria. Essa legislação define os direitos e obrigações dos usuários da internet em relação à proteção de dados pessoais e privacidade. Sendo assim, a confidencialidade de dados e informações pessoais em ambientes virtuais somente poderá ser violada mediante ordem judicial.

O acesso à internet é considerado essencial para o exercício da cidadania e, portanto, a Lei 12.965/14 assegura aos usuários os seguintes direitos: Art. 7º. VI – Informações claras e completas constantes dos contratos de prestação de serviços, com detalhamento sobre o regime de proteção aos registros de conexão e aos registros de acesso a aplicações de internet, bem como sobre práticas de gerenciamento da rede que possam afetar sua qualidade; VII – não fornecimento a terceiros de seus dados pessoais, inclusive registros de conexão, e de acesso a aplicações de internet, salvo mediante consentimento livre, expresso e informado ou nas hipóteses previstas em lei; (Brasil, 2014)

Conforme estabelecido em seu artigo 4º, a Lei 12.965/14 tem como objetivos: assegurar o direito de acesso à internet para todos; fomentar o acesso à informação, ao conhecimento e à participação na vida cultural e na gestão dos assuntos públicos; incentivar a inovação e a ampla disseminação de novas tecnologias e modelos de uso e acesso; e estimular a adoção de padrões tecnológicos abertos que possibilitem a comunicação, a acessibilidade e a interoperabilidade entre aplicações e bancos de dados (Monteiro, 2024).

Os direitos e garantias dos usuários estão previstos no artigo 7º da Lei 12.965/14, os quais guardam semelhança com o artigo 5º da Constituição Federal, e incluem: inviolabilidade da intimidade e da vida privada, com direito a proteção e indenização por danos materiais ou morais decorrentes de sua violação; inviolabilidade e sigilo do fluxo de comunicações pela internet, salvo por ordem judicial, nos termos da lei; inviolabilidade e sigilo das comunicações privadas armazenadas, salvo por ordem judicial. É importante observar que essas garantias de inviolabilidade são semelhantes às previstas na Constituição Federal, que estabelece a proteção ao sigilo das comunicações, exceto por ordem judicial e na forma da lei, e a proteção das informações privadas armazenadas na internet, como redes sociais e e-mails.

A fim de fortalecer a referida Lei, criou-se em 15 de agosto de 2018 a Lei Geral de proteção de dados pessoais (LGPD). A Lei nº 13.709 consiste em aprimorar a governança de dados pessoais, direcionando-se tanto a instituições públicas quanto privadas. Segundo Castro (2021) e Lima (2022), a LGPD é de suma importância para assegurar que as instituições sigam regras rigorosas no tratamento de dados pessoais. Deste modo, as instituições devem proteger os dados pessoais do público no qual à pertence, em conformidade com os artigos 7º e 11, que limitam o uso desses dados ao anonimato garantido, especialmente em pesquisas conduzidas por órgãos responsáveis pela segurança da informação, sendo proibida a transferência para terceiros.

Por outro lado, as tecnologias de segurança na contemporaneidade também têm avançado, tendo em vista a importância da proteção dos dados e informações de usuários dos dispositivos móveis. Amaral et al., (2024) explica que as tecnologias para fortalecer a segurança das informações nos dispositivos devem ser amplamente utilizadas pelos usuários.

Uma das principais ferramentas é a criptografia de dados. Trata-se de uma técnica que visa proteger os dados armazenados no dispositivo durante a transmissão. Assim, a

criptografia converte informações em um formato ilegível para qualquer pessoa que não possui a chave de criptografia correta. Essa ferramenta garante a proteção dos dados em situações de golpes e fraudes (Amaral et al., 2024).

Mesquita (2019) aborda também a importância da autenticação multifator. Este método amplia a segurança do dispositivo móvel, ou seja, acrescenta uma camada a extra de segurança. Além da elaboração de uma senha, é importante fornecer um segundo fator de autenticação, como uma impressão digital ou reconhecimento facial, ou ainda, um código enviado por mensagem de texto. Essas estratégias dificultam o acesso não autorizado ao dispositivo móvel.

Corroborando com esta perspectiva, Cabral e Pontes (2021) enfatiza a utilização de uma Rede Virtual Privada (VPN). Uma VPN possibilita a interação segura entre internet e dispositivo móvel, uma vez que criptografa todo o tráfego de dados. Assim, a VPN protege o dispositivo de ataques em redes não seguras, possibilitando a segurança das informações transmitidas contra ataques de espionagem e interceptação.

Os autores também abordam sobre a importância do Gerenciamento de dispositivos móveis (MDM) na prevenção de ataques e ameaças. Esta ferramenta garante a implementação de políticas de segurança, como senhas fortes, restrições de aplicativos, criptografia e a capacidade de rastrear e apagar remotamente os dados em caso de perda ou roubo do dispositivo (Cabral; Pontes, 2021).

Outro ponto a ser destacado para a segurança cibernética dos dispositivos móveis, é a utilização de um antivírus que visem proteger o dispositivo contra o *malware* (Amaral et al., 2024). Destaca-se também a importância da atualização contínua do sistema operacional do dispositivo e dos aplicativos. A atualização destes dispositivos para versos mais recentes, permite correções de segurança, garantindo assim a proteção contra as ameaças mais recentes. Todas essas estratégias configuram-se como boas práticas de segurança no ambiente cibernético em dispositivos móveis (Bertoglio et al., 2022).

Ainda, na contemporaneidade têm-se percebido o avanço da Inteligência Artificial (IA) o que pode contribuir também para o avanço dos ataques e ameaças aos dispositivos móveis. É inegável que a utilização da IA como um recurso de potencialização de conhecimentos e uso de ferramentas têm possibilitado a melhora da eficiência e produtividade. Contudo, ela também pode ser uma ferramenta explorada por criminosos para realizar ataques cibernéticos mais avançados. O desenvolvimento de técnicas de IA para detectar e prevenir ameaças cibernéticas é um desafio pertinente (Amaral et al., 2024).

Assim, é imprescindível o incentivo à fomentação de estratégias de segurança aos dispositivos móveis, tendo em vista o próprio avanço natural das tecnologias e plataformas de acesso. Aguiar et al., (2024) enfatiza o fortalecimento de políticas de segurança, bem como o interesse público em construir e potencializar a educação de usuários quanto ao uso seguro de dispositivos.

Sabe-se que a prevenção dos ataques e ameaças, garantem sobretudo, a proteção de informações e dados importantes dos usuários. Essa prevenção é capaz de enfraquecer os criminosos, por isso, é essencial munir a sociedade de informações sobre a proteção e segurança no ambiente cibernético. É de suma importância que os usuários reconheçam os ataques, além disso, é necessário que se informem sobre a relevância da adoção de boas práticas de segurança, a fim de se protegerem adequadamente em situações de ameaças e ataques (Bertoglio et al., 2022).

Para se proteger contra ataques em dispositivos móveis, os usuários devem adotar ações preventivas, como a cautela ao fornecer informações pessoais e a verificação da

autenticidade da origem das solicitações. Assim, a educação virtual contínua é uma estratégia vital para que a população consiga reagir adequadamente frente a um ataque cibernético (Santos Junior, 2018).

3. CONCLUSÃO

A segurança cibernética em dispositivos móveis é de fundamental importância na sociedade contemporânea, marcada pelo uso intensivo de smartphones e tablets para atividades pessoais e profissionais. Esses dispositivos armazenam uma grande quantidade de informações sensíveis, como dados bancários, documentos confidenciais e conversas privadas, o que os torna alvos frequentes de ataques cibernéticos. A crescente conectividade e o uso constante de aplicativos também aumentam os riscos de exposição a ameaças como malwares, *phishing* e acesso não autorizado.

O estudo analisado destaca que, apesar da consciência crescente sobre os riscos digitais, ainda há uma carência significativa de medidas de proteção adequadas por parte dos usuários. Muitos negligenciam atualizações de sistema, utilizam senhas fracas ou repetidas, e não fazem uso de autenticação em dois fatores. Assim, é de suma importância a conscientização e educação cibernética direcionada para a sociedade como forma de proteção dos seus dados pessoais e adoção de técnicas preventivas para mitigar os riscos de ataques em dispositivos móveis.

Como recomendações principais, o estudo sugere a implementação de soluções de segurança robustas, como antivírus confiáveis e firewalls específicos para dispositivos móveis. Também recomenda o uso de criptografia para dados sensíveis, atualizações regulares de software e maior atenção ao gerenciamento de permissões dos aplicativos instalados. Por fim, reforça a importância da educação digital, promovendo a conscientização sobre riscos cibernéticos e incentivando comportamentos mais seguros no uso cotidiano dos dispositivos móveis.

Referências

- AMARAL, I Et al., **Segurança cibernética**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.01, 2024.
- AGUIAR, JMC. **Regulação De Plataformas Digitais: Desafios E Estratégias De Governança**. Trabalho de Conclusão Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência da Computação do Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação. 10f. 2024.
- BERTOGLIO, Daniel Dalalana et al. **Weasels e a construção de conhecimento em Segurança Ofensiva**. In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Educação em Computação. SBC, 2022. p. 109-117.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Lei/L13709.htm. Acesso em: 11 abr. 2025.
- CABRAL, Carlos Gabriel Nunes; DELOSKI, Matheus; STADLER, Júlio Cesar. **Uso de técnicas de jogos em seu contexto atual: gamificação e sua importância**. Anais da Jornada Científica dos Campos Gerais, v. 16, 2018.
- CASTRO, R. G. **Proteção de Dados Pessoais no Brasil: Uma Análise da LGPD**. São Paulo: Editora Jurídica, 2021.
- CABRAL, Juliana Pereira; PONTES, Herleson Paiva. **Segurança em Dispositivos Móveis: Um Estudo Sobre a Adoção de Boas Práticas para Proteção em Celulares**. In: Anais do XLVIII Seminário Integrado de Software e Hardware. SBC, 2021. p. 58-68
- LIMA, A. F. **Governança de Dados e Segurança da Informação: Desafios da LGPD no Setor Educacional**. Rio

de Janeiro: Editora Tecnos, 2022.

MESQUITA, Pablo. **Desafios da forense em dispositivos móveis**. Gestão da Segurança da Informação-Unisul Virtual, 2018.

OLIVEIRA, Francisco Gabriel. **Ameaças à Segurança em Dispositivos Móveis**: Análise de Vulnerabilidades e Estratégias de Proteção de Dados. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como pré-requisito para obtenção do Título de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. 50f. 2024.

SANTOS JUNIOR, M. A. **Crimes cibernéticos**: ameaças virtuais e práticas de prevenção. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Sistemas de Computação) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

SILVA, Alex Aparecido et al. **Metodologias ativas ao conceber, desenvolver e controlar fechaduras de forma remota, através do wi-fi com dispositivo móvel**. CIMATech, v. 1, n. 8, p. 100-110, 2021.

VIANNA, Eduardo Wallier; DE SOUSA, Renato Tarciso Barbosa. **Ciber Proteção**: a segurança dos sistemas de informação no espaço cibernético. Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação, v. 10, n. 1, p. 110-131, 2019.

ZEQUIM, Eduarda Pagim; RIBEIRO, Douglas Francisco. **O papel da inteligência artificial na segurança cibernética**: o uso de sistemas inteligentes em benefício da segurança dos dados das empresas. Revista Interface Tecnológica, v. 19, n. 1, p. 21-33, 2022.

Resumo

Inteligência artificial conversacional refere-se a sistemas que conseguem simular uma conversa humana por meio de linguagem natural. Esses sistemas, como chatbots e assistentes virtuais, utilizam técnicas de processamento de linguagem natural (PLN) e aprendizado de máquina para interpretar e gerar respostas em tempo real. Eles podem ser empregados em diversas áreas, como atendimento ao cliente, educação, e suporte técnico, oferecendo interações mais eficientes e personalizadas. A evolução da IA conversacional permite que esses sistemas aprendam com as interações, melhorando continuamente suas respostas e compreensão. A revisão da literatura foi realizada com base em critérios de inclusão e exclusão rigorosos, visando identificar e sintetizar o conhecimento atual sobre as tecnologias da inteligência artificial aplicada aos chatbots e assistentes virtuais.

Palavras-chave: Inteligência artificial, Chatbot; Assistente Virtual, Interação humano computador.

Abstract

Conversational AI refers to systems that can simulate human conversation through natural language. These systems, such as chatbots and virtual assistants, use natural language processing (NLP) and machine learning techniques to interpret and generate responses in real time. They can be used in a variety of areas, such as customer service, education, and technical support, offering more efficient and personalized interactions. The evolution of conversational AI allows these systems to learn from interactions, continually improving their responses and understanding. The literature review was conducted based on strict inclusion and exclusion criteria, aiming to identify and synthesize the current knowledge on artificial intelligence technologies applied to chatbots and virtual assistants.

Keywords: Artificial intelligence, Chatbot; Virtual Assistant, Human-computer interaction.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de IA são pilares fundamentais para o avanço dos chatbots e assistentes virtuais, fornecendo ferramentas que permitem um desenvolvimento focado nas diferentes necessidades de cada área e de seus usuários. O conhecimento do funcionamento dessas tecnologias e suas aplicações no contexto dos chatbots e assistentes virtuais são vitais para melhor interação e integração de ambos em todos os âmbitos.

Nesse cenário, os chatbots e assistentes virtuais emergem como soluções tecnológicas estratégicas, sendo amplamente utilizados em setores como atendimento ao cliente, educação, saúde e comércio eletrônico. Esses sistemas são impulsionados por tecnologias de IA, que permitem compreender, interpretar e responder às necessidades dos usuários de maneira mais eficiente e personalizada.

O tema das tecnologias de inteligência artificial aplicadas a chatbots e assistentes virtuais é essencial diante do papel crescente que esses chatbots e assistentes desempenham em diversos setores, a compreensão aprofundada dessas tecnologias não apenas permite o aprimoramento da interação entre humanos e máquinas, mas também possibilita o desenvolvimento de soluções mais personalizadas, eficazes e acessíveis para diferentes perfis de usuários.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar as principais tecnologias da inteligência artificial utilizadas em chatbots e assistentes virtuais. Como objetivos específicos: Identificar os pontos fortes e fracos de diversas técnicas da inteligência artificial e como são aplicadas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa a ser realizada para o desenvolvimento deste trabalho será a Revisão de Literatura. Serão utilizados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados: Banco de Teses CAPES, Google Scholar e Scielo. O período dos artigos pesquisados serão os trabalhos publicados preferencialmente nos últimos 10 anos. Outros trabalhos que fogem desse período também poderão ser utilizados. As palavras-chaves utilizadas na busca serão: “inteligência artificial”, “chatbot”, “assistente virtual”, “interação humano computador”.

2.2 Resultados e Discussão

O desenvolvimento de chatbots e assistentes virtuais envolve diversas tecnologias como o aprendizado por reforço, aprendizado de máquina, o aprendizado profundo e o processamento de linguagem natural (PLN). Através delas, os chatbots e assistentes virtuais crescem em utilidade e capacidade, tendo até mesmo papéis cruciais em setores importantes como saúde, educação e finanças (Agarwal; Mehra; Mitra, 2023).

Essa integração possibilita a criação de sistemas capazes de compreender comandos em linguagem natural, aprender com interações anteriores e adaptar suas respostas de forma dinâmica às necessidades dos usuários. Ao combinar essas abordagens, os chatbots tornam-se não apenas ferramentas reativas, mas agentes proativos que conseguem ante-



cipar demandas, oferecer sugestões personalizadas e interagir de maneira cada vez mais próxima da comunicação humana. Essa característica multidisciplinar é fundamental para que esses sistemas evoluam continuamente.

O aprendizado por reforço, ou reinforcement learning (RL), é uma técnica de inteligência artificial na qual um agente aprende a tomar decisões por meio de tentativa e erro, visando maximizar recompensas ao longo do tempo. Ele explora um ambiente, realiza ações, e recebe feedback em forma de recompensas ou penalidades (Sutton; Barto, 2018).

Em recentes anos essa técnica tem se mostrado útil em diversas tarefas, superando o desempenho humano. De acordo com Wang (2016), o RL tem dois pontos negativos em comparação com o humano: a necessidade de um volume massivo de dados de treinamento e a restrição ao domínio da tarefa, o que torna sistemas que utilizam o RL como base pouco flexíveis (Wang, 2016).

Aprendizado profundo, ou deep learning (DL) é uma subárea da inteligência artificial que utiliza redes neurais profundas para processar grandes volumes de dados e extrair padrões complexos. Inspirado no funcionamento do cérebro humano, o aprendizado profundo é composto por várias camadas de neurônios artificiais que trabalham em conjunto para reconhecer características em dados como imagens, texto e som (Kubat, 2017).

Para ser utilizado o DL precisa-se de grande número de dados categorizados e marcados para que o desempenho do DL em reconhecer padrões seja bom. Especializado em padrões complexos nos dados, tais como dados que têm relacionamentos complexos e não lineares, o DL apresenta melhores resultados do que outras técnicas quando aplicado a modelos (Russel; Norvig, 2020).

O Processamento de Linguagem Natural (PLN) é uma subárea da inteligência artificial que visa capacitar as máquinas a compreender e gerar linguagem humana de maneira significativa. Com a evolução dos modelos de aprendizado profundo, o PLN tem apresentado grandes avanços em aplicações como análise de sentimentos, tradução automática, chatbots, e sistemas de recomendação. “Os avanços na arquitetura de redes neurais profundas, como os modelos de transformadores, permitiram melhorias significativas na precisão e na flexibilidade das tarefas de PLN, especialmente em contextos que exigem entendimento semântico e sintático mais complexo” (Jurafsky; Martin, 2021, p. 142). Esse trecho destaca como os modelos de transformadores revolucionaram o processamento de linguagem natural ao oferecer maior precisão e compreensão contextual, tornando-os fundamentais para aplicações mais sofisticadas.

Além disso, o PLN está se mostrando cada vez mais importante em campos como atendimento ao cliente e marketing, onde o volume de interações em linguagem natural é massivo. Conforme ressaltado por Cambria e White (2014), “as aplicações de PLN permitem que as empresas não só automatizem o atendimento, mas também analisem as emoções e intenções dos usuários, promovendo um relacionamento mais personalizado e eficaz” (Cambria; White, 2014, p. 318).

O uso de deep learning em chatbots tem se mostrado altamente eficaz para melhorar a qualidade das interações, oferecendo respostas mais naturais e contextuais. Os modelos de deep learning, especialmente redes neurais profundas como as redes neurais recorrentes (RNNs) e as redes Transformers, são capazes de processar grandes volumes de dados e extrair padrões complexos na linguagem humana. Esse avanço permite que chatbots compreendam melhor a intenção dos usuários e forneçam respostas mais precisas e relevantes (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

Uma aplicação popular de deep learning em chatbots é a utilização de modelos de

linguagem de grande escala, como o GPT (Generative Pre-trained Transformer), que, conforme Vaswani et al. (2017), baseia-se na arquitetura Transformer para capturar relacionamentos de longo alcance entre palavras, gerando respostas mais coerentes e contextualmente adequadas (Vaswani et al., 2017).

Modelos como o GPT e o Bidirectional Encoder Representations from Transformations (BERT), ambos treinados em enormes volumes de dados, têm sido amplamente utilizados em sistemas de atendimento ao cliente e assistentes virtuais, melhorando significativamente a experiência do usuário (Delvin et al., 2018).

A aplicação de modelos baseados em deep learning, como GPT e BERT, representa um marco no desenvolvimento de assistentes virtuais e chatbots, especialmente no que diz respeito à compreensão e geração de linguagem natural com maior profundidade semântica. Esses modelos, ao serem treinados com bilhões de parâmetros e vastos conjuntos de dados, são capazes de captar nuances linguísticas, ambiguidade e intencionalidade com maior precisão, o que os torna ferramentas altamente eficazes para interações humanizadas e eficientes. Além disso, a flexibilidade dessas arquiteturas permite sua adaptação a domínios específicos, tornando possível a criação de soluções customizadas para áreas como saúde, educação, finanças e suporte técnico.

Além disso, o uso de técnicas de processamento de linguagem natural (PLN) no treinamento de chatbots com deep learning permite que eles realizem análises de sentimentos e identifiquem intenções com maior precisão. Esse processo contribui para a personalização da interação e para a adaptação das respostas conforme o contexto emocional do usuário. Como observado por Young et al. (2018), modelos baseados em deep learning têm mostrado avanços expressivos na compreensão de intenções e análise semântica em diálogos, aumentando a satisfação dos usuários (Young et al., 2018)

Segundo uma pesquisa realizada por Li et al. (2016), o aprendizado por reforço é uma maneira eficaz de treinar chatbots, especialmente em contextos em que é difícil antecipar todas as possíveis interações dos usuários. Esse estudo demonstrou que chatbots treinados com RL podem desenvolver diálogos mais naturais e adaptáveis, uma vez que aprendem a responder com base no comportamento do usuário e nos objetivos preestabelecidos (Li et al., 2016).

Li et al. (2016) acrescenta que o modelo de RL aplicado em chatbots geralmente utiliza uma política que busca maximizar uma recompensa acumulada ao longo do tempo, promovendo interações que agreguem valor para o usuário. Para isso, cada resposta do chatbot é tratada como uma ação que visa otimizar o diálogo, sendo recompensada ou penalizada conforme a qualidade da resposta. Esse tipo de abordagem permite que o chatbot se ajuste constantemente, melhorando a experiência do usuário à medida que interage com ele.

A implementação de chatbots vem se tornando cada vez mais relevante em diversos setores, especialmente devido ao seu potencial para melhorar a comunicação entre empresas e clientes. Um dos principais benefícios dos chatbots é a possibilidade de responder rapidamente a dúvidas e solicitações, oferecendo suporte 24 horas por dia, sete dias por semana (Dale, 2016).

De acordo com Dale (2016), a aplicação de inteligência artificial em chatbots modernos permite que esses sistemas respondam de forma mais natural e personalizada, superando as limitações de interações rígidas e programadas. Portanto, ao integrar essas tecnologias, os chatbots se tornam mais robustos, personalizáveis e eficientes, sendo capazes de transformar a maneira como empresas e consumidores se relacionam digitalmente.

Os assistentes virtuais (AVs) destacam-se por oferecerem maior conveniência em tarefas cotidianas. Esses sistemas têm melhorado a acessibilidade tecnológica, permitindo que usuários com deficiências visuais ou motoras acessem informações de forma mais eficiente. A integração desses assistentes virtuais em dispositivos móveis e residenciais tem ampliado sua aplicação em domínios como saúde e educação (Hoy, 2018).

Altamente eficazes em tarefas simples, como agendamento, reprodução de músicas e busca por informações, os assistentes virtuais enfrentam desafios em tarefas mais complexas que exigem contextualização profunda ou múltiplas interações. Em situações que exigem raciocínio lógico ou decisões personalizadas muitas vezes entregam resultados insatisfatórios (Bentley et al., 2018).

A área de AVs tem evoluído significativamente através do conceito de sequência para sequência (seq2seq), uma técnica que aprimorou a habilidade dos sistemas PNL em gerar respostas contextualmente apropriadas. Essa abordagem é amplamente utilizada em assistentes como o Google Assistant e o Amazon Alexa, proporcionando respostas mais naturais (Vinyals; Le, 2015).

A pesquisa em PLN continua a evoluir, com foco em modelos mais contextualmente conscientes. A introdução do GPT-3, que elevou os padrões para a geração de linguagem natural, requer ainda refinamentos para lidar com dilemas éticos, como geração de informações falsas ou prejudiciais, também conhecidas como Fake News (Brown et al., 2020).

Outra tendência promissora é a integração de tecnologias de aprendizado multimodal, combinando texto, áudios e imagens para compreender e responder a alta complexidade de certos contextos. Essa abordagem permite a transformação da forma como os AVs se integram em setores profissionais (Kiela et al., 2021).

Por fim, o desenvolvimento de sistemas PLN mais eficientes em termos de energia é uma prioridade crescente, considerando os custos ambientais associados ao treinamento de modelos de grande escala, afetando inclusive a escolha de local para a execução desses modelos (Patterson et al., 2021).

Apesar dos avanços, AVs com modelos baseados em deep learning também apresentam limitações significativas. Esses sistemas são essencialmente caixas-pretas, o que dificulta a interpretação de como chegam a certas respostas. Essa falta de transparência é problemática em cenários críticos, como na saúde em atendimentos médicos ou decisões legais (Marcus; Davis, 2019).

Tecnologias emergentes como redes neurais leves e aprendizado federado prometem reduzir a dependência de infraestruturas de dados centralizada, aumentando a privacidade de usuários no desenvolvimento e implementação de AVs. Espera-se que os futuros modelos integrem características de aprendizado contínuo sem a necessidade de retreinamento (Mcmahan et al., 2017).

Além disso, o avanço dos modelos de linguagem natural tem impulsionado a personalização dos assistentes virtuais, tornando-os cada vez mais sensíveis ao contexto e às intenções dos usuários. Com a aplicação de técnicas como fine-tuning e aprendizado por reforço com feedback humano (RLHF), os sistemas atuais são capazes de adaptar suas respostas com maior precisão a diferentes perfis e situações. Isso é especialmente relevante em ambientes profissionais, onde a precisão, a clareza e a empatia nas interações são cruciais. A combinação dessas tecnologias com dados de domínio específico tem possibilitado o surgimento de assistentes virtuais altamente especializados, capazes de oferecer suporte técnico, educacional ou clínico com maior eficiência e confiabilidade. Esses avanços abrem caminho para aplicações mais seguras e impactantes, desde que acompanhados

de políticas éticas e mecanismos de controle adequados.

Quando se trata de desafios éticos e técnicos os AVs comercialmente disponíveis revelaram que perguntas relacionadas a profissões frequentemente reforçam divisões de gênero, como se referir frequentemente a profissão de médico sendo masculina e a profissão de enfermeiro sendo feminina (Bolukbasi *et al.*, 2016).

Segundo Bolukbasi *et al.* (2016) para mitigar esse problema, técnicas como re-weighting e debiasing estão sendo exploradas, mas a eficácia dessas abordagens ainda é limitada apenas a projetos de pequena escala, excluindo modelos em escalas maiores.

3. CONCLUSÃO

Levando em consideração as informações apresentadas pelos autores, evidencia-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, fundamentado em fontes recentes com dados relevantes para o objetivo geral e específico.

Observou-se que para os chatbots e assistentes virtuais, a área da inteligência artificial é crucial no seu desenvolvimento e avanço, contendo uma vasta gama de opções de escolhas para melhor abordar o problema em mãos e que cada uma tem sua aplicação apesar das falhas em cada técnica apresentada.

Percebeu-se também a possibilidade de sanar os pontos fracos criados ao utilizar apenas uma técnica fazendo uso de uma combinação de técnicas apropriada ao problema, levando em conta o tipo de entrada e saídas esperadas, qualidade e padrão dos dados, usuários alvos e funcionalidade esperada.

Referências

- AGGARWAL, Shivom.; MEHRA, Shourya.; MITRA, Pritha. **Multi-purpose NLP chatbot: Design, methodology & conclusion.** França: [s. n.], 2023.
- BENTLEY, Frank et al. **Understanding the Long-Term Use of Smart Speakers Assistants.** ACM Digital Library, 2018. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3264901>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- BOLUKBASI, Tolga. et al. **Man is to computer programmer as woman is to homemaker? Debiasing word embeddings.** Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), v. 30, p. 4349–4357, 2016. Disponível em: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2016/file/a486cd07e4ac3d270571622f4f316ec5-Paper.pdf>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- BROWN, Tom B. et al. **Language Models are Few-Shot Learners.** Advances in Neural Information Processing Systems, v. 33, p. 1877-1901, 2020. Disponível em: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/1457c-0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Abstract.html>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- CAMBIA, Erik.; WHITE, Bebo. **Jumping NLP curves: A review of natural language processing research.** IEEE Computational Intelligence Magazine, v. 9, n. 2, p. 48-57. New York: IEEE Computational Intelligence Magazine, 2014.
- DALE, Robert. **The return of the chatbots.** Natural Language Engineering, v. 22, n. 5, p. 811–817. Reino Unido: Cambridge University Press, 2016. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/natural-language-engineering/article/return-of-the-chatbots/0ACB73CB66134BFCA8C1D55D20BE6392>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- DEVLIN, Jacob. et al. BERT: **Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding.** 2018. arXiv preprint arXiv:1810.04805. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1810.04805>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- GOODFELLOW, Ian.; BENGIO, Yoshua.; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning.** Cambridge: MIT Press, 2016.
- HOY, Matthew B. **Alexa, Siri, Cortana, and More: An Introduction to Voice Assistant.** Cham: Springer, 2018.



- JURAFSKY, Dan; MARTIN, James H. **Speech and Language Processing**. 3. ed. Boston: Pearson, 2021.
- KIELA, Douwe. et al. **The Hateful Memes Challenge**: Detecting Hate Speech in Multimodal Memes. Proceedings of the NeurIPS 2020 Track on Datasets and Benchmarks, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2005.04790>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- KUBAT, Miroslav. **An Introduction to Machine Learning**. Cham: Springer, 2017.
- LI, Jiwei. et al. **Deep reinforcement learning for dialogue generation**. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2016. p. 1192–1202. Disponível em: <https://aclanthology.org/D16-1127.pdf>. Acesso em: 08 de abril 2024.
- MARCUS, Gary; DAVIS, Ernest. **Rebooting AI**: Building Artificial Intelligence We Can Trust. New York: Pantheon Books, 2019.
- MCMAHAN, Brendan. et al. **Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data**. Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS). PMLR, v. 54, p. 1273-1282, 2017.
- Disponível em: <https://proceedings.mlr.press/v54/mcmahan17a.html>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- PATTERSON, David. et al. **Carbon Emissions and Large Neural Network Training**. arXiv preprint arXiv:2104.10350, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2104.10350>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- RUSSELL, Stuart.; NORVIC, Peter. **Artificial Intelligence**: A Modern Approach. 4. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2020.
- SUTTON, Richard.; BARTO, Andrew. **Reinforcement Learning**: An Introduction. 2. Ed. Cambridge: MIT Press, 2018.
- VASWANI, Ashish. et al. **Attention is all you need**. Advances in Neural Information Processing Systems, v. 30, p. 5998-6008, 2017.
- VINYALS, Oriol; LE, Quoc. **A Neural Conversational Model**. arXiv preprint arXiv:1506.05869, 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1506.05869>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- WANG, Jane X. et al. **Learning to reinforcement learn**. arXiv preprint arXiv:1611.05763, 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1611.05763>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- YOUNG, Tom.; HAZARIKA, Devamanyu; PORIA, Soujanya; CAMBIA, Erik. **Recent trends in deep learning based natural language processing**. IEEE Computational Intelligence Magazine, v. 13, n. 3, p. 55-75. New York: IEEE Computational Intelligence Magazine, 2018.

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO



Resumo

A presente pesquisa apresenta uma revisão de literatura sobre as revoluções industriais e os devidos impactos na atual e posterior sociedade, visa compreender as contribuições da quarta revolução industrial. Os avanços tecnológicos viabilizaram a competitividade e a necessidade do mercado com seus trabalhadores e suas devidas especializações para atender as necessidades das novas tecnologias. Para elaboração deste estudo, foi utilizada a pesquisa bibliográfica como metodologia, viabilizando discussão sobre: Mudanças no mercado de trabalho, desigualdade e inclusão, e flexibilidade no trabalho. Assim os resultados a pesquisa evidenciam que a indústria 4.0 ou quarta revolução industrial está moldando o futuro da produção industrial, com grandes impactos nas áreas de tecnologia, economia e sociedade. Seus avanços prometem aumentar a eficiência, reduzir custos e criar oportunidades de negócios, mas também trazem desafios, como a necessidade de requalificar os trabalhadores e promover. Os indicadores demonstram a procura de novas funções criadas todos os dias, o que pode ser aliada no crescimento social, por viabilizarem diversas oportunidades de empregos, dentre outras opções, a capacitação de uma geração para atender o mercado e seu crescimento.

Palavras-chave: Revolução. Tecnologia. Integração. Internet. Produção.

Abstract

This research presents a literature review on industrial revolutions and their impacts on current and future society, aiming to understand the contributions of the fourth industrial revolution. Technological advances have enabled competitiveness and the market's need for workers and their appropriate specializations to meet the needs of new technologies. To prepare this study, a bibliographical research was used as a methodology, enabling discussions on: Changes in the labor market, inequality and inclusion, and flexibility at work. Thus, the results of the research show that industry 4.0 or the fourth industrial revolution is shaping the future of industrial production, with major impacts on the areas of technology, economy, and society. Its advances promise to increase efficiency, reduce costs, and create business opportunities, but they also bring challenges, such as the need to retrain workers and promote. The indicators demonstrate the demand for new functions created every day, which can be allied to social growth, to enable various job opportunities, among other options, the training of a generation to serve the market and its growth.

Keywords: Revolution. Technology. Integration. Internet. Production.



1. INTRODUÇÃO

A automação é a utilização de tecnologia em processos industriais, comerciais e residenciais com o objetivo de reduzir a intervenção humana, aumentar a segurança, a produção e sua qualidade. Ao contrário das revoluções industriais anteriores, que se limitaram a substituir a força humana por máquinas, a Indústria 4.0 propõe uma integração profunda entre seres humanos e tecnologias digitais avançadas. Um processo que iniciou no século XVIII, na Inglaterra, com equipamentos semiautomáticos, quando sistemas de produção agrário se tornaram sistemas industriais, conhecido como revolução industrial. Uma segunda revolução industrial ocorreu no século XIX, marcado pela eletricidade e pela produção em série, com as linhas de produção de Ford. No século XX, houve a terceira revolução industrial com a automação dos maquinários, onde a produção passou a ser realizada por equipamentos. A indústria 4.0 ou quarta revolução industrial, tem como característica a integração de tecnologias nos processos de produções avançadas, com fabricas automatizadas e altamente avançadas em meio a tecnologias de inteligências artificiais, computação em nuvem e análise de dados. Os equipamentos de automação industriais são essenciais para a implementação da indústria 4.0.

Este estudo se justifica pela necessidade da compreensão de fatores que podem impactar significativamente a sociedade pela evolução da indústria. A quarta revolução industrial indica um ponto de partida que dificilmente a humanidade pode voltar atrás. A relevância desse estudo se deve a abrangência dos setores prejudicados e beneficiados com a indústria 4.0, resultado que trabalhadores ou profissões podem perder espaço no mercado de trabalho para equipamentos, máquinas ou processos sistematizados que podem facilmente serem mais eficazes em diversos resultados. Portanto, este estudo é relevante por demonstrar as características das revoluções industriais para a sociedade compreender e evitar impactos maiores no setor produtivo, econômico e trabalhista. Nota-se que no setor trabalhista pode se perder diversas profissões para dar espaço para outras profissões. Estima-se que mais de 50% das tarefas realizadas atualmente por humanos poderão ser automatizadas, o que representa tanto oportunidades quanto desafios significativos. Essa transição tecnológica promete aumentar a produtividade e reduzir custos operacionais, mas simultaneamente coloca em xeque modelos tradicionais de emprego e relações trabalhistas estabelecidas ao longo do século XX.

A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 também apresenta implicações importantes para a sustentabilidade ambiental. Por um lado, a otimização de processos produtivos pode levar a reduções significativas no consumo de energia e matéria-prima. Por outro, o aumento na produção de dispositivos eletrônicos e a obsolescência programada trazem novos desafios para a gestão de resíduos e a conservação ambiental. O equilíbrio entre progresso tecnológico e preservação dos ecossistemas naturais será um dos grandes dilemas desta nova era industrial. Além dos impactos econômicos, a Indústria 4.0 está transformando radicalmente a maneira como consumimos produtos e serviços. A personalização em massa, possibilitada por tecnologias como impressão 3D e machine learning, está redefinindo as expectativas dos consumidores e as estratégias das empresas. Ao mesmo tempo, a coleta e análise de grandes volumes de dados pessoais levantam questões importantes sobre privacidade e segurança da informação, exigindo novas estruturas regulatórias e formas de governança.

Esta pesquisa visou responder ao seguinte questionamento: O conceito da última revolução industrial tem recebido atenção de empresários, governadores, pesquisadores e universidades, para um novo caminho de pesquisas e investimentos com enormes possi-

bilidades em diversas áreas da ciência. O que essas mudanças associadas com um potencial em larga escala de produção em novos processos a cada dia, pode impactar no desenvolvimento da humanidade como sociedade? Tendo como objetivo geral, compreender os principais fatores dos impactos da quarta evolução da indústria para a humanidade como sociedade, e como objetivos específicos: conhecer o histórico das primeiras revoluções industriais; pesquisar os resultados das revoluções industriais; e comparar os indicadores e números das transformações.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

Este estudo realizado apresenta como base teórica e metodológica uma revisão bibliográfica de artigos do período dos últimos dez anos, visando aprofundar o conhecimento sobre a quarta revolução industrial e suas consequências na sociedade. As palavras-chaves utilizadas foram: revolução, industrial, automação, e os principais autores que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa foram: Denis, Maracci e Anselmo; McKinsey; Pedro, M. N. Coelho. Como critérios de inclusão estão os materiais dos autores e textos científicos publicados nos últimos 10 anos e relacionados com as palavras-chaves da pesquisa; os critérios de exclusão são os textos científicos publicados e que não atendam aos critérios de inclusão.

2.2 Resultados e Discussão

Percebe-se que na indústria, seja em tempos atuais ou em momentos anteriores, a transformação de profissionais sempre esteve presente na cadeia evolutiva de diversos setores produtivos. Antes da Indústria 4.0, os processos produtivos seguiam um modelo essencialmente mecânico e linear, característico da Terceira Revolução Industrial. As fábricas operavam com máquinas automatizadas, mas desconectadas entre si, dependendo fortemente de intervenção humana para controle e tomada de decisões. A produção em massa seguia o paradigma fordista e taylorista, com linhas de montagem rígidas e pouca flexibilidade para customização, onde a eficiência era medida pela padronização e repetição de tarefas especializadas. A cadeia de valor mostrava-se pouco integrada, com processos sequenciais e estanques entre desenvolvimento, produção, distribuição e pós-venda. A manutenção era predominantemente corretiva ou preventiva por calendário, resultando em paradas não planejadas e custos operacionais elevados. A relação com o cliente era basicamente transacional, sem possibilidade de personalização em escala ou acompanhamento do ciclo de vida do produto, caracterizando um modelo industrial com baixa adaptabilidade às mudanças do mercado e às demandas individuais dos consumidores. No mundo moderno a automação tem sido vinculado a essas mudanças, essas que se entende como “a automação pode crescer a concorrência, permitindo que as empresas entrem em novas áreas fora de seus principais negócios” (McKinsey & Company, 2017). Assim, compreende-se como uma necessidade crucial o entendimento da compreensão da diferença que a indústria 4.0 pode trazer para o mundo.

O conceito de Indústria 4.0 refere-se, fundamentalmente, à fusão técnica de sistemas cibernéticos físicos, tanto na produção quanto na logística, além da aplicação da internet das coisas e serviços em processos, abrangendo as implicações para uma nova geração de valor, modelos de negócios, assim como serviços a montante e a estrutura do trabalho. O



CPS diz respeito às interconexões entre pessoas, equipamentos, produtos, objetos e sistemas de tecnologia da informação e comunicação. Nos próximos cinco anos, projeta-se que mais de 50 bilhões de dispositivos conectados estarão presentes globalmente (Denis; Maracci; Anselmo, 2019, p. 2).

A Indústria 4.0, conhecida como a Quarta Revolução Industrial, está mudando de forma significativa a operação de fábricas e empresas, introduzindo inovações como inteligência artificial, internet das coisas (IoT), análise de grandes volumes de dados, automação e robótica. Essas tecnologias estão influenciando o setor industrial de diversas maneiras, afetando tanto o processo de produção quanto o mercado de trabalho e a economia mundial (Tadeu, 2016).

A combinação de inteligência artificial, Internet das coisas, robótica avançada e big data está criando sistemas autônomos capazes de tomar decisões em tempo real, aumentando significativamente a eficiência operacional (Siemens, 2016).

Enquanto algumas profissões tradicionais, especialmente aquelas baseadas em tarefas repetitivas, estão sendo gradualmente substituídas por máquinas, novas oportunidades surgem em áreas como ciência de dados, cibersegurança e manutenção de sistemas inteligentes. Estudos indicam que, até 2025, mais de 97 milhões de novos empregos serão criados em funções que exigem habilidades tecnológicas, embora aproximadamente 85 milhões de postos sejam eliminados devido à automação (Bcg, 2015).

Essa transição exige urgentemente políticas de requalificação profissional para evitar um aumento da desigualdade social. Além do mercado de trabalho, a Indústria 4.0 está transformando os padrões de consumo e a relação entre empresas e clientes. A personalização em massa, possibilitada por tecnologias como impressão 3D e análise preditiva, permite que produtos sejam fabricados sob demanda, atendendo às preferências individuais de cada consumidor. Plataformas digitais e marketplaces inteligentes utilizam algoritmos para oferecer recomendações precisas, melhorando a experiência do usuário e reduzindo desperdícios. Esse cenário favorece não apenas a eficiência econômica, mas também a sustentabilidade, ao minimizar estoques e reduzir o descarte de produtos não vendidos (Iba, 2017).

Segundo Millani (2016), no campo da educação, a Indústria 4.0 impõe a necessidade de uma reformulação nos modelos de ensino tradicional. As instituições de ensino precisam incorporar disciplinas como programação, análise de dados e robótica em seus currículos, preparando os estudantes para um mercado de trabalho cada vez mais digitalizado. Além disso, a aprendizagem contínua torna-se essencial, já que as tecnologias evoluem rapidamente, exigindo que profissionais se atualizem constantemente.

A saúde é outro setor profundamente impactado pela Indústria 4.0. A adoção de wearables, telemedicina e diagnósticos baseados em IA está revolucionando a maneira como as doenças são prevenidas, diagnosticadas e tratadas. Hospitais inteligentes utilizam sistemas de monitoramento em tempo real para acompanhar pacientes, reduzindo erros médicos e melhorando a eficiência dos tratamentos (Coutinho, 2017).

A sustentabilidade é uma das grandes promessas da Indústria 4.0. A otimização de recursos energéticos, o uso de materiais recicláveis e a redução de resíduos industriais são alguns dos benefícios proporcionados por tecnologias como IoT e blockchain. Fábricas inteligentes conseguem monitorar seu consumo de energia em tempo real, ajustando processos para minimizar impactos ambientais. No entanto, o aumento da produção eletrônica e a obsolescência programada de dispositivos tecnológicos também representam desafios, exigindo soluções inovadoras para o descarte adequado de lixo eletrônico (Bai, Dallasega, Orzes & Sarkis, 2020).

Apesar dos avanços, a Indústria 4.0 também amplia desigualdades sociais e econômicas. Países desenvolvidos, com maior acesso a infraestrutura tecnológica, tendem a se beneficiar mais dessas inovações, enquanto nações em desenvolvimento enfrentam dificuldades para acompanhar o ritmo das mudanças. Além disso, a concentração de riqueza nas mãos de grandes corporações de tecnologia pode aprofundar a disparidade econômica, caso não sejam implementadas políticas de redistribuição e inclusão digital. (Andreoni, Chang, 2019)

Em relação aos impactos tecnológicos, o principal impulsionador da Indústria 4.0 é a fusão de tecnologias digitais com os métodos de produção convencionais. “O Grande desafio da indústria 4.0 é colecionar todos os dados considerados relevantes, processá-los, transformando-os em conhecimento” (Pedro, Miguel, 2016, p. 23).

Segundo Luciano Coutinho, entre essas tecnologias, destacam-se: Internet das Coisas (IoT): Máquinas e dispositivos conectados à internet, trocam informações em tempo real, permitindo monitorar e ajustar os processos produtivos de forma instantânea. Isso torna a produção mais ágil e eficiente; A Inteligência Artificial analisa os enormes volumes de dados gerados pelas máquinas, identifica padrões, prevê possíveis falhas e sugere melhorias. Isso reduz o tempo de parada das máquinas e aumenta a produtividade; Automação e Robótica: Robôs avançados e sistemas automatizados estão tornando as fábricas mais rápidas e precisas. Eles reduzem erros humanos e permitem que a produção seja mais flexível, adaptando-se rapidamente a mudanças na demanda (Coutinho, 2017).

Os impactos econômicos da Indústria 4.0 são amplos e afetam desde a forma como os produtos são feitos até a competitividade global. Entre os principais efeitos econômicos estão: Redução de Custos: O uso de automação e dados em tempo real ajuda as empresas a controlarem melhor seus estoques e cadeias de suprimentos, além de evitar desperdícios. Isso resulta em uma produção mais barata e eficiente; Novos Modelos de Negócios: A digitalização abre portas para novos tipos de negócios, como o modelo “as a service”, onde produtos e serviços são oferecidos sob demanda, e a economia de plataformas, que conecta diretamente produtores e consumidores (McKinsey & Company, 2017).

A servitização em que o serviço agregado ao produto é parte central do valor oferecido, também está em alta; Competitividade Global: A Indústria 4.0 acelera a globalização, permitindo que empresas de diferentes partes do mundo concorram de maneira mais equilibrada. A tecnologia reduz barreiras geográficas e torna a concorrência mais intensa (Pedro, Miguel, 2016)

Sobre os impactos sociais, as transformações trazidas pela Indústria 4.0 também têm efeitos significativos no mercado de trabalho e nas relações sociais. Alguns dos principais impactos sociais incluem: Mudanças no Mercado de Trabalho: Com o aumento da automação, muitas funções repetitivas e manuais estão sendo substituídas por máquinas (Coutinho, 2017).

Isso pode levar à perda de empregos em alguns setores, mas, por outro lado, aumenta a demanda por novas habilidades, principalmente ligadas à tecnologia e à gestão de dados. Isso gera uma transformação no perfil dos profissionais requisitados; Desigualdade e Inclusão: A transição para um ambiente industrial mais tecnológico pode aumentar a desigualdade, já que nem todos os trabalhadores têm as qualificações necessárias para atuar nesse novo cenário (Millani, 2016).

É fundamental que políticas de capacitação e requalificação sejam implementadas para evitar que parte da população fique excluída dessas novas oportunidades; Flexibilidade no Trabalho: Em alguns setores, especialmente os ligados à administração e gestão, a digitalização tem permitido maior flexibilidade no trabalho, com o aumento do trabalho



remoto. No entanto, para os trabalhadores da linha de produção, a automação pode trazer mais controle e monitoramento, o que pode ter impactos sobre a saúde mental e o bem-estar (Andreoni, Chang, 2019).

Tendo-se que, a Indústria 4.0 está moldando o futuro da produção industrial, com grandes impactos nas áreas de tecnologia, economia e sociedade. Seus avanços prometem aumentar a eficiência, reduzir custos e criar oportunidades de negócios, mas também trazem desafios, como a necessidade de requalificar os trabalhadores e promover (Iba, 2017).

3. CONCLUSÃO

Enquanto algumas profissões tradicionais foram reduzidas, a Indústria 4.0 criou empregos mais especializados, especialmente em tecnologia, análise de dados e automação. Quem se adaptou a essas habilidades teve mais oportunidades no mercado. A Indústria 4.0 não eliminou empregos, mas reinventou-os. Quem se adaptar às novas tecnologias e mentalidades terá vantagem no mercado, enquanto resistir à transformação digital pode significar obsolescência profissional. O futuro do trabalho será cada vez mais colaborativo (homem-máquina) e baseado em dados, exigindo uma força de trabalho mais qualificada e versátil. Essa revolução não apenas automatizou tarefas repetitivas, mas também criou demandas por habilidades avançadas, redefinindo o perfil do trabalhador moderno. Transformou radicalmente o cenário profissional desde 2011, substituindo funções tradicionais por novas carreiras digitais e tecnológicas. A quarta revolução está tornando a sociedade mais eficiente, personalizada e inovadora, mas também mais desigual e dependente de tecnologia. O desafio é equilibrar progresso com inclusão, garantindo que os benefícios sejam compartilhados por todos. Como demonstrado ao longo deste trabalho, sua implementação já mostra resultados significativos em termos de eficiência operacional, qualidade de produtos e customização em massa, beneficiando tanto empresas quanto consumidores. A integração de tecnologias como IoT, IA e big data está criando sistemas inteligentes capazes de otimizar processos de maneiras antes impensáveis.

Contudo, os impactos sociais desta revolução tecnológica apresentam um cenário complexo e multifacetado. A transformação do mercado de trabalho, com a substituição de funções tradicionais por novas ocupações tecnológicas, exige uma reestruturação urgente dos sistemas educacionais e de qualificação profissional. Os dados analisados revelam que, embora milhões de novos empregos estejam sendo criados, a transição pode abandonar trabalhadores sem acesso à requalificação, ampliando desigualdades sociais já existentes. No aspecto ambiental, a Indústria 4.0 apresenta um paradoxo relevante. Por um lado, tecnologias como a manufatura aditiva e a otimização energética através de IoT contribuem para processos mais sustentáveis. Por outro, o aumento acelerado da produção tecnológica e a obsolescência programada geram novos desafios ambientais, especialmente no que diz respeito ao lixo eletrônico e ao consumo energético de data centers e sistemas computacionais avançados.

A questão da privacidade e segurança de dados emerge como um dos maiores desafios éticos desta nova era industrial. Com a coleta massiva de informações pessoais e industriais, surgem preocupações legítimas sobre vigilância digital, uso indevido de dados e vulnerabilidade a ciberataques. A implementação de frameworks regulatórios robustos, como a LGPD no Brasil, mostra-se essencial para equilibrar inovação e proteção dos direitos individuais. Do ponto de vista geopolítico e econômico, a Indústria 4.0 tende a aprofundar a divisão digital entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento. Países que investirem precocemente em infraestrutura tecnológica, pesquisa e desenvolvimento humano

estarão mais bem posicionados nesta nova corrida industrial, enquanto outros podem enfrentar dificuldades para acompanhar o ritmo das transformações, perpetuando assimetrias globais. As transformações trazidas pela Quarta Revolução Industrial exigem uma abordagem multidisciplinar e colaborativa. Governos, setor privado, academia e sociedade civil precisam trabalhar em conjunto para desenvolver políticas públicas que promovam a inclusão digital, estimulem a inovação responsável e garantam que os benefícios da automação sejam distribuídos de forma mais equitativa. Programas de renda básica, educação continuada e apoio à pequena e média indústria surgem como possíveis caminhos para mitigar os impactos negativos.

Olhando para o futuro, fica evidente que a Indústria 4.0 não é um destino inevitável, mas um processo que pode e deve ser moldado por escolhas coletivas. A tecnologia em si é neutra - o que determinará seu impacto social será a forma como decidimos implementá-la e regulá-la. A capacidade de conciliar avanço tecnológico com bem-estar social será o verdadeiro teste do sucesso desta revolução industrial. Por fim, este trabalho deixa claro que estamos diante de uma encruzilhada histórica. A Indústria 4.0 oferece ferramentas poderosas para enfrentar muitos dos desafios globais, desde a crise climática até a eficiência em saúde pública. No entanto, seu potencial só será plenamente realizado se conseguirmos desenvolver modelos de governança que priorizem o desenvolvimento humano sustentável em vez do mero progresso tecnológico pelo progresso. O caminho a seguir exigirá não apenas competência técnica, mas também sabedoria ética e visão de longo prazo por parte de todos os atores envolvidos nesta transformação sem precedentes.

A adaptação contínua será a chave para prosperar nessa nova era. Quem dominar as habilidades do futuro e abraçar a mudança terá vantagem no mercado.

Referências

- ANDREONI A.; CHANG, H.-J. **The Political Economy of Industrial Policy: Structural Interdependencies**, SCAZZIERI, R. (ed.). *Structural change and economic dynamics*, v. 48, p. 136-150, 2019.
- BAI, C.; DALLASEGA, P.; ORZES, G. & SARKIS, J. **Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective**. *International journal of production economics*, **229**, 107776, 2020.
- BCG. **"Man and Machine in Industry 4.0"**. 2015.
- CORDEIRO, G. do R.; MOLINA, N. L.; DIAS, V. F. **Orientações e dicas práticas para trabalhos acadêmicos**. Curitiba: Editora Intersaberes, 2014.
- COUTINHO, LUCIANO. **O futuro da indústria**. Transcrição de Palestra. II Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (II ENEI). Carta IEDI, 2017.
- DENIS, MARACCI, E ANSELMO, 2019. **Indústria 4.0, manufatura avançada e seus impactos sobre o trabalho**. IE Instituto de economia, 2019.
- INTERNATIONAL BAR ASSOCIATION (IBA 2017). GLOBAL EMPLOYMENT INSTITUTE. **Artificial intelligence and robotics and their impact on the workplace**, 2017.
- MCKINSEY & COMPANY. **Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation**, 2017.
- MILLANI, RICARDO. **"Como será o engenheiro do futuro?"**. 2016. Disponível em < <https://blogs.siemens.com/conexaosiemens/stories/26320/>>.
- PEDRO, M. N. COELHO. **Rumo à indústria 4.0**. FCTUC, 2016.
- SIEMENS. **Como será o profissional da indústria 4.0**. 2016. Disponível em:< <http://exame.abril.com.br/publicidade/siemens/conteudo-patrocinado/como-sera-oprofissional-da-industria-4-0>>.
- SILVA, M. A. F. **Métodos e técnicas de pesquisa**. Curitiba: Ibpex, 2016.
- TADEU, HUGO FERREIRA BRAGA. **"Impactos da Indústria 4.0"**. 2016.



ENGENHARIA MECÂNICA



A IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS NO CONTEXTO DA GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

THE IMPORTANCE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF
INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT

Mateus Conceição Lopes
Mirian Nunes de Carvalho Nunes

5

Resumo

A evolução tecnológica tem impactado profundamente os processos industriais, especialmente na área da manutenção, e com o avanço da Indústria 4.0, surgem novas ferramentas digitais que transformam a forma como ativos são monitorados e gerenciados. E diante desse cenário a pesquisa teve como objetivo investigar a importância das tecnologias digitais para a gestão da manutenção industrial, por meio de uma revisão de literatura com base em artigos científicos das bases de dados Scielo e Google Acadêmico. Os resultados mostraram que a transformação digital tem promovido uma mudança significativa no papel da manutenção industrial, que passou de uma prática reativa e corretiva para uma abordagem proativa, preditiva e estratégica. Com a aplicação de tecnologias como IoT, inteligência artificial, Big Data, realidade aumentada, computação em nuvem, M2M, impressão 3D e robótica tem proporcionado maior eficiência operacional, redução de falhas, diminuição dos custos com reparos emergenciais e aumento da vida útil dos equipamentos, monitoramento contínuo, mais preciso e seguro, otimizando o planejamento da manutenção, a gestão de estoques e o uso da mão de obra técnica.

Palavras- chaves: Tecnologias digitais. Manutenção industrial. Benefícios

Abstract

Technological evolution has profoundly impacted industrial processes, especially in the area of maintenance, and with the advancement of Industry 4.0, new digital tools emerge that transform the way assets are monitored and managed. In light of this scenario, the research aimed to investigate the importance of digital technologies for industrial maintenance management through a literature review based on scientific articles from the Scielo and Google Scholar databases. The results showed that digital transformation has driven a significant change in the role of industrial maintenance, which has shifted from a reactive and corrective practice to a proactive, predictive, and strategic approach. The application of technologies such as IoT, artificial intelligence, Big Data, augmented reality, cloud computing, M2M, 3D printing, and robotics has led to greater operational efficiency, reduced failures, decreased costs associated with emergency repairs, and increased of the useful life of equipment, continuous monitoring, more precise and safe, optimizing maintenance planning, inventory management, and the use of technical labor.

Keywords: Digital technologies. Industrial maintenance. Benefits Abstract:

1. INTRODUÇÃO

A indústria vem passando por diversas mudanças nas últimas décadas, tais como alterações nos métodos tradicionais de manutenção corretiva para abordagens mais modernas e eficientes como a preventiva, no perfil de seus profissionais, nas máquinas e, principalmente tecnológicas, visando produtividade, competitividade, qualidade e interligação entre setores.

Essa evolução dos processos industriais tem sido acompanhada pela crescente integração de tecnologias digitais, que vêm remodelando as práticas de manutenção marcando uma transição dos métodos tradicionais, fundamentados em inspeções periódicas e intervenções reativas, para abordagens que incorporam a coleta e o processamento contínuo de dados dos equipamentos.

Assim, alguns problemas enfrentados hoje em dia pela manutenção industrial, podem ser melhor resolvidos aplicando-se corretamente as ferramentas tecnológicas que serão foco desse estudo. Essas desempenham um papel central nessa evolução, ao introduzir tecnologias disruptivas como sensores inteligentes, Internet das Coisas (IoT), Big Data e algoritmos de inteligência artificial que podem ser utilizados na gestão da manutenção industrial.

Nesse sentido, pesquisas dessa natureza se justificam para explorar novas ferramentas, tais como sensores inteligentes, IoT, Big Data e algoritmos de inteligência artificial, fomentando o desenvolvimento de soluções inovadoras e práticas que podem ser aplicadas em diversos setores industriais.

Espera-se também que a pesquisa contribua para a sociedade, pois com sistemas preditivos baseados em tecnologias avançadas evitam paradas inesperadas e reduz os custos operacionais, podendo ser ofertados produtos com melhor qualidade e preços, e como fonte de pesquisas para outros trabalhos futuros para profissionais de Engenharia mecânica e áreas afins.

Diante desse contexto, chega-se a seguinte pergunta de pesquisa: Qual a importância das tecnologias digitais para a gestão da manutenção industrial? E para responder a essa questão a pesquisa teve como objetivo geral de investigar a importância das tecnologias digitais para a gestão da manutenção industrial e objetivos específicos de definir a gestão da manutenção industrial e sua evolução; abordar os principais recursos tecnológicos que possibilitam a manutenção industrial e discutir os benefícios dos recursos tecnológicos para o sucesso das indústrias.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia a ser utilizada foi a revisão de literatura qualitativa descritiva. A coleta de dados foi realizada no período de fevereiro de 2025 com a utilização de livros, revistas especializadas e artigos científicos das bases de dados Google Acadêmico e SciELO (Scientific Electronic Library Online). Foram utilizados alguns descritores com o fim de especificar a busca através do cruzamento dos seguintes termos em português “tecnologias digitais” “manutenção industrial” e “benefícios”.

Foram realizada leitura dos resumos dos artigos encontrados e disponíveis para a lei-



tura gratuita, sendo selecionados os artigos que apresentassem contribuição direta com o tema proposto, tornando-se relevantes para a revisão a ser apresentada.

Os critérios de inclusão utilizados para a escolha dos artigos a serem usados nesse estudo foram literaturas com o ano de publicação entre 2014 e 2024, disponíveis na íntegra e de forma gratuita, que estivessem em língua portuguesa e que tratassem sobre as tecnologias industriais no contexto da manutenção industrial.

E os critérios de exclusão definidos foram: artigos que em seu título fossem duplicados nas bases de dados, produções não científicas e que, após a leitura do título ou resumo, não se encontrassem relacionados à finalidade proposta.

2.2 Resultados e Discussão

Para fundamentar a discussão sobre a transformação digital na manutenção industrial, é essencial iniciar estabelecendo os conceitos básicos que orientam essa área. Os autores Gregório e Silveira (2018), definem que a manutenção tem origem no latim *manutenzione* e significa ato ou efeito de manter-se, também pode significar o ato de manter as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação.

Já para Schuster, Monteiro e Tillmann (2018), a manutenção industrial é a atividade responsável pelo manutenção de máquinas, instalações e equipamentos em condições de uso. Ela preocupa-se com a análise de equipamentos e instalações quando ainda em funcionamento e/ou utilização, de modo a postergar ao máximo sua eventual quebra e/ou destruição e, conseqüentemente, sua paralisação ou inutilização.

Segundo Shigunov Neto e Sacarpim (2014), a evolução da manutenção pode ser dividida em cinco fases de acordo com os parágrafos seguintes que mostram as principais características de cada geração:

2.2.1 Fases da manutenção industrial

- 1ª fase: No início dos tempos, os homens se utilizavam de utensílios que garantiam sua sobrevivência, como o arco, a flecha e a lança, que eram utilizados para a caça, e também equipamentos de trabalho. Posteriormente foram sendo produzidos equipamentos e utensílios de trabalho para serem utilizados na agricultura, no comércio e pequenas oficinas.
- 2ª fase: Aconteceu por volta dos 1950 e 1970, tendo como principais características o aumento da mecanização e necessidade de maior disponibilidade, confiabilidade e produtividade. A segunda geração foi marcada por manutenções preventivas, pois começou a se processar a visão de disponibilidade e confiabilidade
- 3ª fase: Teve início em 1970, e reforçou a necessidade de manutenção preditiva devido à maior automatização dos processos e à tendência mundial de utilização do *just-in-time*.
- 4ª fase: Atuou em projetos voltados para manutenibilidade e aumento das manutenções preditivas
- 5ª fase: A quinta geração, que ocorre a partir de 2005, mantém as boas práticas da quarta geração, focando na gestão de ativos, que devem produzir na sua capa-

cidade máxima para obter o melhor retorno. A manutenção preditiva ganha ainda mais foco com o monitoramento das condições de forma *on* e *off-line*. A gestão está focada em melhorias para a redução de falhas a partir da performance de ativos, da engenharia de manutenção e da contratação de serviços terceirizados por resultados (Shigunov Neto; Sacarpim, 2014).

A evolução das cinco gerações da manutenção industrial demonstra uma transformação significativa na forma como os ativos são gerenciados, passando de uma abordagem reativa para um modelo altamente estratégico e tecnológico. Pois se antes a manutenção era limitada a reparos corretivos, hoje, com o avanço das técnicas preditivas e o uso de monitoramento em tempo real, as empresas podem reduzir falhas, otimizar custos e garantir maior produtividade.

A manutenção é uma atividade importante ligada à gestão da produção pois é a principal variável de rentabilidade da organização, garantindo o bom funcionamento de máquinas e equipamentos, evitando falhas que possam comprometer a produtividade e a segurança no ambiente de trabalho. Para isso, existem diferentes tipos de manutenção, cada um com características específicas e aplicáveis conforme a necessidade da operação, tais como a manutenção corretiva é, portanto, um conjunto de procedimentos que são executados com a finalidade de atender imediatamente a produção, ou seja, a máquina ou equipamento que parou (Kaneko; Neves; Tabah, 2022). Entende-se então que a manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado, esse tipo de manutenção ocorre pela reparação dos equipamentos, geralmente em regime de emergência e com um custo alto.

Já a manutenção preventiva foi desenvolvida para evitar os prejuízos causados por paradas imprevistas e evitar que defeitos de pequeno impacto causem danos maiores nas máquinas (Selliton; Fachinni, 2014). Tem como objetivo eliminar ou reduzir a probabilidade de falhas, sempre que viável, é o modo a ser adotado quando as falhas têm consequências severas sobre os critérios de desempenho da operação, as falhas não são totalmente aleatórias, e, portanto, permitem que as intervenções periódicas aumentem a confiabilidade dos recursos (Selliton; Fachinni, 2014).

A principal característica da manutenção preventiva é a substituição da peça no período determinado pelo programador da manutenção. O estado em que a peça se encontra no momento da execução da manutenção não é avaliado. Isso possibilita questionamentos quanto à eficácia desse tipo de manutenção, devido à possibilidade de troca da peça mesmo que ela ainda esteja em boas condições operacionais.

A manutenção preditiva, que também pode ser chamada de manutenção controlada, manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, tem como principal objetivo realizar a manutenção do item somente quando necessário, aproveitando ao máximo esse componente durante toda a sua vida útil e reduzindo a necessidade de outros tipos de manutenção, como corretiva e preventiva (Baldissarelli; Fabro, 2019). Esse tipo de manutenção aplica de forma sistemática técnicas de análise e monitoramento, podendo detectar fenômenos como alteração no nível de vibração de equipamentos rotativos, contaminação de óleos lubrificantes, alteração nos níveis de pressão, trincas em vasos de pressão, entre outros.

Ao longo da segunda metade do século XX, os controles começaram a passar do mecânico para o eletroeletrônico, inicialmente analógico e depois digital e computadorizado. A automação veio para reduzir o esforço ao empreender tarefas rotineiras ou repetitivas, tornando o processo controlado por dispositivos comandados por softwares, e no caso da Indústria, a base existente de automação informatizada e uma visão de negócios voltada à

transformação digital faz nascer o conceito de Indústria 4.0, cujo nome veio de um projeto da indústria alemã, denominado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0), lançado em 2011, na Feira de Hannover (Sacomano; Gonçalves; Bonilla, 2018).

Assim, a indústria 4.0, trouxe para a gestão da manutenção industrial diversas inovações tecnológicas em automação, controle e tecnologia da informação que podem ser aplicadas à manutenção industrial preditiva, a exemplo da Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things*, IoT), que se refere ao uso de dispositivos e sistemas conectados que, de forma inteligente, aproveite os dados coletados por sensores e atuadores incorporados nessas máquinas e em outros objetos (Collombo; De Lucca Filho, 2018).

Outra tecnologia utilizada na manutenção industrial é a solução *Machine to Machine* (M2M), e de acordo com os autores Da Silva e Sacomano (2018), trata-se de um subconjunto da IoT. Essas máquinas já usam redes sem fio para conectar dispositivos uns aos outros e à internet, com mínima intervenção humana direta, para fornecer serviços que atendam às necessidades de uma ampla gama de indústrias.

Continuando com essa discussão, é citado na literatura a inteligência artificial, que representa um software diferente dos demais, pois é inteligente e visa fazer os computadores realizarem funções que eram exclusivamente dos seres humanos, por exemplo, praticar a linguagem escrita ou falada, aprender, reconhecer expressões faciais etc. (Saran; Saran, 2024).

O *Big Data*, refere-se ao conjunto de dados massivos, variados e gerados em alta velocidade, que exigem tecnologias avançadas para armazenamento, processamento e análise. Esses dados podem ser estruturados (como bancos de dados organizados) ou não estruturados (como imagens, vídeos e textos (Gaspar, 2025).

Outro recurso de tecnologia digital utilizada na manutenção industrial é a Realidade Aumentada é uma tecnologia que integra elementos virtuais ao mundo real, permitindo a sobreposição de informações digitais sobre o ambiente físico em tempo real. Utilizando dispositivos como smartphones, tablets, óculos inteligentes e headsets, a RA proporciona uma experiência interativa ao combinar imagens, sons e outros dados digitais com a realidade ao redor. Seu avanço tem sido impulsionado pelo desenvolvimento de sensores, câmeras e inteligência artificial, tornando-a cada vez mais acessível e precisa (Gelio; Cesar, 2022).

Também se pode mencionar a computação em nuvem é uma forma especializada de computação distribuída que introduz modelos de utilização para o provisionamento remoto de recursos escaláveis e mensurados (Adada Junior; Carvalho, 2019). Trata-se de um amplo conjunto de recursos virtualizados, incluindo hardware, plataformas de desenvolvimento e serviços, que são facilmente acessíveis e utilizáveis.

Além dos recursos já citados, a impressão 3D é uma tecnologia que permite criar objetos físicos a partir de modelos digitais, e o seu processo funciona adicionando camadas sucessivas de material (como plástico, resina, metal ou até biomateriais) até formar o objeto desejado, permitindo que componentes críticos sejam produzidos com precisão e agilidade sempre que necessário, reduzindo significativamente o tempo de espera que normalmente ocorreria em processos tradicionais de (Camargo; Barbosa; Santos, 2021).

E por fim, os robôs industriais, que são manipuladores reprogramáveis, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas (Santos; Junior, 2015). Partindo dessas definições, é possível associar um robô industrial ao tipo de máquina aplicada na automação flexível, sendo constituída basicamente por um manipu-

lador mecânico acionado por atuadores a partir de um controlador, o qual opera com base em informações de movimentos programados e de sinais gerados por elementos sensores de realimentação (Santos; Junior, 2015).

A respeito dos benefícios dessas tecnologias na manutenção industrial, os autores Neto *et al.* (2023), discutem que com o uso de tecnologias de Internet das Coisas, os dados críticos são coletados com maior velocidade e precisão e são submetidos a análise por sistemas de inteligência artificial, tornando a manutenção mais eficiente, é possível estimar o tempo de vida útil de cada componente, organizar datas de inspeções, interromper o funcionamento de equipamentos no momento adequado.

Outro benefício da internet das coisas na manutenção industrial, é que com base nos dados coletados, é possível programar a manutenção no momento mais adequado, evitando paradas imprevistas, a gestão do estoque de peças de reposição se torna mais eficiente e otimiza a alocação da equipe de manutenção (Oliveira *et al.*, 2020).

Nas aplicações da IoT na manufatura, redes de sensores podem controlar máquinas, processos produtivos e logísticos, e, com isso, aumentar a competitividade das empresas e reduzir custos operacionais. Melhorias em equipamentos de manutenção, otimização de inventários, e maior segurança e saúde do trabalhador, também são fontes de valor nas fábricas que adotarem essa nova tecnologia (Oliveira *et al.*, 2020).

Saran e Saran (2024), diz que a inteligência artificial pode ser utilizada com o uso de sensores, que se comunicam em tempo real durante o processo produtivo, possibilitando o monitoramento preditivo com o uso de algoritmos; assim, a partir dos dados obtidos, é possível controlar custos de manutenção, evitar falhas e reduzir os tempos de máquina parada, reduz desperdícios e custos operacionais.

A gestão eficiente da mão de obra é um dos grandes benefícios da otimização de recursos na manutenção, pois com um planejamento estratégico baseado em dados, é possível evitar a ociosidade dos técnicos e, ao mesmo tempo, impedir a sobrecarga de trabalho durante emergências. Isso melhora a produtividade da equipe, reduz riscos de erro humano e garante que os profissionais estejam sempre disponíveis para tarefas críticas, mantendo o equilíbrio entre eficiência e segurança na operação industrial (Queiroz; Santos, 2024).

O uso de *Big Data* na manutenção industrial permite a coleta e o processamento de grandes volumes de dados, proporcionando uma gestão mais estratégica e eficiente dos ativos e ajudam na otimização do desempenho dos equipamentos, garantindo maior produtividade e redução de custos com reparos emergenciais (Gaspar, 2025).

O autor Gaspar (2025), cita também outro benefício, como a otimização do desempenho dos equipamentos ocorre quando os dados coletados são analisados para ajustar processos e melhorar a performance das máquinas, pois com base em informações detalhadas sobre o funcionamento dos ativos, é possível implementar estratégias de manutenção preditiva, garantindo que os equipamentos operem no seu melhor estado. Sendo assim, há um aumento da vida útil dos componentes, redução do consumo de energia e melhor aproveitamento dos recursos, resultando em maior produtividade e competitividade para as empresas.

De acordo com Gelio e Cesar (2022), a realidade aumentada permite a sobreposição de informações digitais em tempo real, auxiliando técnicos na identificação de falhas e na execução de reparos de maneira mais ágil e assertiva. Dessa forma, os trabalhadores podem acessar manuais interativos e orientações detalhadas diretamente em seus dispositivos, reduzindo erros operacionais e minimizando o tempo de inatividade das máquinas,



o que impacta positivamente na produtividade da indústria.

Além da eficiência operacional, a realidade aumentada também contribui para a segurança dos trabalhadores, permitindo que procedimentos de manutenção sejam realizados com menor exposição a riscos. O estudo destaca que, por meio de simulações e treinamentos imersivos, os técnicos podem se preparar para intervenções complexas sem a necessidade de contato direto com os equipamentos, diminuindo a probabilidade de acidentes (Gelio; Cesar, 2022).

A respeito da computação em nuvem, segundo Adada Junior e Carvalho (2019), essa oferece vantagens para a manutenção industrial no armazenamento e compartilhamento de dados em tempo real, permitindo monitoramento contínuo e tomada de decisões ágeis e a integração de sistemas de manutenção com análises baseadas em dados centralizados possibilita a identificação de padrões de falha e otimização dos processos.

Os autores De Lima Filho e Da Rocha (2024), afirmam que a computação em nuvem permite que empresas expandam sua capacidade de armazenamento de forma flexível, de acordo com suas necessidades, sem a exigência de investimentos em infraestrutura física. Entende-se então que, diferente dos servidores locais, que requerem manutenção constante e espaço físico, a nuvem oferece uma solução escalável, onde os recursos podem ser aumentados ou reduzidos conforme a demanda, o que possibilita maior eficiência operacional, pois as empresas pagam apenas pelo que utilizam, evitando desperdícios e reduzindo custos com equipamentos e atualizações.

Já os benefícios do M2M são de a máquina identificar, na linha de produção, identificar a necessidade da manutenção interna ou externa, informando o que está acontecendo, ao mesmo tempo em que tenta minimizar o impacto do problema, por exemplo, solicitando as máquinas para reduzir a velocidade da linha de produção e /ou passar a produzir na linha algum produto que não sobrecarregue a máquina defeituosa (Völz, et al., 2023).

A impressão 3D, contribui para a redução de custos e otimização do espaço de armazenamento, pois ao produzir peças conforme a demanda, as empresas não precisam manter grandes estoques de componentes sobressalentes, evitando desperdício e perdas financeiras decorrentes da obsolescência ou deterioração de itens pouco utilizados. Essa flexibilidade não só melhora a resposta às necessidades imediatas de manutenção, mas também permite uma gestão mais inteligente dos recursos, proporcionando ganhos em termos de economia e sustentabilidade (Camargo; Barbosa; Santos, 2021).

E por fim, Soares e Lucato (2021), mencionam os benefícios da robótica têm transformado a manutenção industrial ao proporcionar soluções que reduzem significativamente a exposição de trabalhadores a ambientes perigosos, pois os robôs equipados com sensores e sistemas avançados realizam inspeções e manutenções de forma autônoma, o que não só aumenta a segurança das equipes, mas também garante um monitoramento contínuo e preciso dos equipamentos.

Arruda e Pamplona (2024), abordam que o uso de robôs eleva a precisão na execução de tarefas repetitivas e complexas, reduzindo erros e garantindo consistência na manutenção e permite que processos sejam realizados com uma exatidão que muitas vezes supera a capacidade humana, contribuindo para a durabilidade e o desempenho ideal dos ativos industriais.

3. CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objetivo investigar a importância das tecnologias digitais para a gestão da manutenção industrial. Através da revisão de literatura foi visto que ao longo das décadas, a manutenção deixou de ser uma atividade meramente corretiva para se tornar uma função estratégica, apoiada por ferramentas preditivas e recursos digitais que possibilitam decisões baseadas em dados em tempo real. A transformação digital na manutenção industrial representa um marco na evolução dos processos produtivos, ao integrar tecnologias avançadas com estratégias cada vez mais eficientes de gestão de ativos.

As inovações trazidas pela Indústria 4.0 — como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial, o *Big Data*, a realidade aumentada, a computação em nuvem, a impressão 3D, o M2M e a robótica revolucionaram a forma como os processos de manutenção são executados, viabilizando assim a maior eficiência operacional, redução de custos, aumento da segurança dos trabalhadores e maior controle sobre a vida útil dos equipamentos.

Além disso, o uso de sensores, algoritmos e sistemas integrados permite identificar falhas de forma antecipada, programar intervenções com precisão e otimizar a alocação dos recursos humanos e a digitalização não apenas melhora a produtividade industrial, mas também reforça a sustentabilidade, ao evitar desperdícios e promover o uso inteligente de materiais e energia.

Referências

ADADA JUNIOR, Gilmar Antônio; CARVALHO, Marcelo Vasconcelos. Aumento de disponibilidade de máquina onduladeira com manutenção preditiva através de sensores inteligentes, computação em nuvem e conceitos da indústria 4.0. In: **IX Congresso brasileiro de engenharia de produção, ponta grossa**. 2019. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/anais/arquivos/10202019_201026_5dacea8e27e9c.pdf. Acesso em: 07.mar.2025.

ARRUDA, Everton Júnior da Silva; PAMNPLONA, Franklin Martins Pereira. **Integração da robótica industrial com a indústria 4.0: estudo aprofundado do modelo específico de robô FANUC LR Mate 200iD**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal da Paraíba. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3966>. Acesso em: 17.mar.2025.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. Manutenção Preditiva na indústria 4.0. **Scientia cum industria**, v. 7, n. 2, p. 12-22, 2019. Disponível em: <https://sou.ucs.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/6835>. Acesso em: 07.mar.2025.

CAMARGO, Giulia Roberta Rodrigues; BARBOSA, Pedro Augusto Gomes; SANTOS, Fernando de Almeida. Impressão 3D na manutenção industrial e a redução de custos. **ABCustos**, v. 16, n. 1, p. 118-143, 2021. Disponível em: <https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/593>. Acesso em: 17.mar.2025.

COLOMBO, Jamires Fátima; DE LUCCA FILHO, João. INTERNET DAS COISAS (IoT) E INDÚSTRIA 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 72-85, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/496>. Acesso em 06. Mar.2025.

DA SILVA, Edson Pereira; SACOMANO, José. **A transição da manutenção industrial para o modelo do novo paradigma da indústria 4.0**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Paulista. Disponível em: https://repositorio.unip.br/wp-content/uploads/taianacan-items/198/10782/eng_edsonpereiradasilva.pdf. Acesso em: 06.mar.2025.

DE LIMA FILHO, Francisco Everardo Queiroz; DA ROCHA, Ednardo Pereira. **Indústria 4.0: explorando a convergência entre IoT e computação em nuvem**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/06848441-7d46-46a5-a91c-a0a2db85d898/content>. Acesso em: 16.mar.2025.

GASPAR, Daniel. As novas tecnologias na manutenção industrial e na gestão de ativos. **RAE—Revista de Ativos de Engenharia**, v. 3, n. 1, p. 001–003-001–003, 2025. Disponível em: <https://revistas.ponteditora.org/index.php/rae/index>. Acesso em: 07.mar.2025.



GÉLIO, Lucas Gomes; CÉSAR, Francisco Ignácio Giocondo. Utilização da realidade aumentada na manutenção industrial. **Revista científica acertte**, v. 2, n. 2, p. e2262-e2262, 2022. Disponível em: <https://www.acertte.org/acertte/article/view/62>. Acesso em: 06. mar.2025.

GREGÓRIO, Gabriela F P.; SILVEIRA, Aline M. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. *E-book*. p.13. ISBN 9788595026971. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026971/>. Acesso em: 04 mar. 2025.

KANEKO, Filipe Pacor; NEVES, Lucas Oliveira; TABAH, June. Gestão da manutenção industrial. **Revista Eletrônica CREARE**. Disponível em: <http://periodicos.unifacel.com.br/creare/article/view/2536>. Acesso em: 07.mar.2025.

OLIVEIRA, Joyce de Fátima Medeiros et al. **Sistema de Monitoramento de Máquina Industrial para Manutenção Preditiva Utilizando Internet das Coisas**. 2020. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos20/513035.pdf>. Acesso em: 17. mar.2025.

NETO, Elias Aoad et al. O impacto das tecnologias digitais na eficácia da manutenção preditiva industrial. **Revista Científica SENAI-SP-Educação, Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 2, p. 59-83, 2023. Disponível em: <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/26>. Acesso em: 16.mar.2025.

QUEIROZ, Eduardo do Nascimento; SANTOS, Victor Otto dos. **Aplicação da inteligência artificial na manutenção preditiva**: Revisão Bibliográfica. 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/29427>. Acesso em: 16.mar.2025.

SACOMANO, José B.; GONÇALVES, Rodrigo F.; BONILLA, Sílvia H. Indústria 4.0 : conceitos e fundamentos. São Paulo: Editora Blucher, 2018. *E-book*. p.30. ISBN 9788521213710. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521213710/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

SANTOS, Winderson Eugênio dos; JÚNIOR, José Hamilton Chaves G. Robótica Industrial - Fundamentos, tecnologias, programação e simulação - 1ª edição - 2014. Rio de Janeiro: Érica, 2015. *E-book*. p.15. ISBN 9788536530789. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536530789/>. Acesso em: 16 mar. 2025.

SARAN, David José; SARAN, Marina Claudia Brustello; FRANZOTTI, Celso Luiz. O impacto da inteligência artificial na manutenção industrial: benefícios, desafios e tendências: Benefits, challenges and trends. **SITEFA**, v. 7, n. 1, p. e7114-e7114, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.fatecsertaozinho.edu.br/sitefa/article/view/304>. Acesso em: 06. mar.2024.

SCHUSTER, Gustavo; MONTEIRO, Vitor Abel; TILLMANN, Costa. Conceitos e características da manutenção industrial: uma revisão de literatura. In: **XXVII Congresso de Iniciação Científica. UFPEL**. 2018. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/EN_00758.pdf. Acesso em: 07.mar.2025.

SELLITO, Miguel Afonso; FACHINNI, Silmar Jose Fachini. Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma empresa de metal-mecânica. **E-Tech. Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 7 n. 1, 2014. Disponível em: <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/view/400>. Acesso em: 07.mar.2025.

SHIGUNOV NETO, Alexandre; SCARPIM, João Augusto. **Terceirização em serviços de manutenção industrial**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 06 mar. 2025.

SOARES, Renan; LUCATO, André Vicente Ricco. Robótica colaborativa na Indústria 4.0, sua importância e desafio. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 747-759, 2021. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1298>. Acesso em: 17.mar.2025.

VÖLZ, Vanderson Kruschardt et al. Avaliação de maturidade da Indústria 4.0 em uma empresa fabricante de produtos eletromédicos. **VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 33, n. 1, p. 80-96, 2023. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/14662>. Acesso em: 17.mar.2025.



MANUTENÇÃO PREVENTIVA E OS IMPACTOS FRENTE A PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS

PREVENTIVE MAINTENANCE AND ITS IMPACTS ON FIRE PROTECTION

Leonardo Carvalho Mendes

6

Resumo

A escolha em discorrer sobre esse tema está relacionado com o grande número de incêndios que tem ocorrido constantemente nos últimos anos, e grande parte deles com uma manutenção preventiva realizada corretamente poderia ter sido evitado, o que é triste de ver pois muitos deles levaram a grandes perdas de estruturas, econômicas e muito pior muitas vidas foram perdidas. Diante disso, surgiu a necessidade em escrever esse trabalho, tendo como objetivo geral compreender através de uma revisão bibliográfica, a manutenção preventiva e sua importância na proteção contra incêndios, para isso será necessário apresentar alguns conceitos sobre manutenção preventiva, abordar as vantagens e desvantagens da adoção desse método, selecionar os principais equipamentos de segurança contra incêndios e analisar quais desses equipamentos devem ter maior periodicidade de manutenção. A metodologia utilizada para realização desse trabalho é a revisão de literaturas, utilizando como apoio obra de autores muito relevantes como: Almeida (2005) e Bosa (2009), com o objetivo de explanar sobre a manutenção preventiva e os benefícios que a mesma tem proporcionado frente ao número de focos de incêndios, comparados anos atrás que nas construções não se tinha essa devida preocupação.

Palavras-chave: Manutenção, Prevenção, Organização, Impactos, Incêndios.

Abstract

The choice to discuss this topic is related to the large number of fires that have occurred constantly in recent years, and many of them could have been avoided with preventive maintenance carried out correctly, which is sad to see because many of them led to great structural and economic losses and, much worse, many lives were lost. In view of this, the need arose to write this work, with the general objective of understanding, through a bibliographic review, preventive maintenance and its importance in fire protection. To do this, it will be necessary to present some concepts about preventive maintenance, address the advantages and disadvantages of adopting this method, select the main fire safety equipment and analyze which of these equipment should have more frequent maintenance. The methodology used to carry out this work is the literature review, using as support the work of very relevant authors such as: Almeida (2005) and Bosa (2009), with the objective of explaining preventive maintenance and the benefits it has provided in the face of the number of fire outbreaks, compared to years ago when constructions did not have this due concern.

Keywords: Maintenance, Prevention, Organization, Impacts, Fires.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção preventiva tem ganhado destaque no mercado devido aos diversos benefícios econômicos que proporciona. Ela é uma estratégia para manter os veículos em condições próximas às de fábrica, sem causar sobrecarga em sua mecânica, prevenindo falhas decorrentes do desgaste ou do fim da vida útil dos componentes (ALMEIDA, 2005).

Segundo Silva (2004), há uma crescente necessidade de debater o tema, especialmente no que se refere à manutenção periódica de equipamentos de combate a incêndio, uma vez que problemas inesperados podem surgir. O objetivo da manutenção vai além de preservar ou restaurar o estado físico dos equipamentos, buscando também garantir sua funcionalidade. De fato, manter a integridade física dos dispositivos está diretamente relacionado à preservação de sua operacionalidade e da qualidade do produto (BOSA, 2009).

De acordo com Gomide (2006) com isso em mente, é de extrema importância mantê-los preventivamente e procurar estar o mais preparado possível para evitar um incêndio e, se ocorrer, controlá-lo. Além disso, surge a seguinte discussão: Qual a importância da manutenção preventiva em relação ao funcionamento dos sistemas de proteção contra incêndio?

Além disso, é muito importante discutir este tema, tendo em vista que a manutenção preventiva de equipamentos de proteção contra incêndio como sprinklers, extintores, sistemas de alarme, iluminação de emergência, portas corta-fogo, sinalização etc. envolve muita responsabilidade. econômica e socialmente, pois vidas estão em jogo (RODRIGUES, 2015).

Logo, o objetivo geral dessa pesquisa é compreender através de uma revisão bibliográfica, a manutenção preventiva e sua importância na proteção contra incêndios, para que isso seja possível é necessário que os seguintes objetivos específicos sejam: Apresentar alguns conceitos sobre manutenção preventiva, bem como abordar as vantagens e desvantagens da adoção desse método, além disso, selecionar os principais equipamentos de segurança contra incêndios e por fim analisar quais desses equipamentos devem ter maior periodicidade de manutenção (ULRICH, 2002).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O tipo de pesquisa utilizada nesse trabalho foi uma revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados (livros, sites de banco de dados etc.). O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 10 (Dez) anos. As palavras-chave utilizadas na busca são: “prevenção”, “incêndio” e “manutenção”.

2.2 Resultados e Discussão

A manutenção preventiva tem sido um tema amplamente debatido, à medida que sua relevância cresce no mercado, especialmente devido aos benefícios que oferece. Esse debate é particularmente importante quando se trata de prevenção de incêndios, o que despertou o interesse em explorar o assunto. A principal função da manutenção preventi-



va é evitar a necessidade de manutenções futuras que, se não previstas, podem gerar custos elevados, como no caso da manutenção corretiva não planejada (RODRIGUES, 2015).

Conforme o tema é aprofundado, fica claro que a manutenção preventiva não se limita a conservar ou recuperar o estado físico dos equipamentos, mas também visa garantir sua plena funcionalidade. Manter a condição física adequada dos dispositivos assegura sua operacionalidade, bem como a qualidade do produto, a integridade ambiental e a segurança (ALMEIDA, 2005).

Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de discutir o tema, uma vez que a manutenção preventiva oferece grandes benefícios, evitando danos sociais, econômicos e humanos significativos. Acidentes podem causar perdas irreparáveis, mas a manutenção preventiva minimiza ao máximo o risco de que tais imprevistos ocorram (VILLANUEVA, 2015).

Com o rápido desenvolvimento humano, as indústrias se viram obrigadas a atender uma demanda maior do que estavam acostumadas. Nesse cenário, as máquinas precisam operar continuamente para suprir as necessidades e impulsionar as vendas. No entanto, muitas empresas negligenciam a análise desse aspecto, o que leva a interrupções inesperadas no funcionamento das máquinas, resultando em falhas na produção. Esse descuido faz com que as empresas não consigam atingir suas metas, o que, muitas vezes, acarreta perdas significativas (ALMEIDA, 2005).

Outro fator muito interessante são as tendências atuais de produção Just-in-Time (JIT), ajustada (*Lean Production*), considerado um modelo de produção flexível e ágil, é vital que a gestão da manutenção esteja integrada com as estratégias da empresa para assegurar disponibilidade do equipamento, a qualidade do produto, a entrega a tempo, o preço competitivo e o respeito às normas de segurança (OLIVEIRA, 2007).

Além dos conceitos básicos sobre a manutenção dos equipamentos também será exposto sobre a análise SWOT, que faz uma grande diferença para o andamento desempenho de produção.

A análise SWOT é uma das técnicas mais utilizadas em investigação social, quer na elaboração de diagnósticos, quer em análise organizacional ou elaboração de planos. No entanto a sua utilização, nem sempre se traduz em contributos efetivos para os processos, sendo que, muitas vezes, ela surge mais como um ritual ou uma tentativa desprovida de conteúdo real, de sermos mais científicos ou técnicos nos processos de planeamento e/ou avaliação. Na realidade, devido a sua aparente simplicidade, esta técnica emergiu como uma das preferidas por técnicos de todas as áreas (ULRICH, 2002, p. 212).

Além disso, o planejamento estratégico será considerado e relacionado aos conceitos de manutenção preventiva. O planejamento estratégico é um processo administrativo que fornece a base metodológica para definir a melhor direção a ser seguida pela empresa, buscando uma interação otimizada com fatores externos, que não podem ser controlados, e adotando abordagens inovadoras e diferenciadas. Normalmente, essa responsabilidade recai sobre os níveis hierárquicos mais altos da organização e envolve tanto a formulação de objetivos quanto a escolha dos caminhos a serem seguidos para alcançá-los. Esse processo leva em conta as condições internas e externas da empresa, assim como suas projeções futuras. Além disso, considera as premissas essenciais que a organização deve observar para garantir que o processo estratégico seja coerente e tenha embasamento para a tomada de decisões (OLIVEIRA, 2007, p. 17).

Além disso, serão discutidas as vantagens e desvantagens da manutenção preventiva, evidenciando a importância desse sistema, que não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também melhora a qualidade do processo produtivo. Historicamente, o conceito de “manutenção” surgiu no contexto militar, com o propósito de manter as tropas e seus equipamentos de combate em condições adequadas para operação (BOSA, 2009).

A partir desse conceito, surgiram diferentes modalidades de manutenção, sendo as principais: preventiva, preditiva e corretiva. A manutenção preventiva se destaca por ser baseada em um planejamento estruturado, que envolve revisões contínuas e periódicas dos equipamentos. Seu principal objetivo é reduzir ou evitar falhas e a deterioração do desempenho, seguindo um cronograma previamente definido com intervalos específicos, geralmente indicados por manuais técnicos. Esse tipo de manutenção exige paradas programadas para garantir que os equipamentos operem com máxima eficiência dentro de um período determinado (VILLANUEVA, 2015).

Conforme Gomide *et al.* (2006), a manutenção preventiva tem como propósito atuar de forma antecipada, evitando a necessidade de reparos futuros. As atividades seguem um cronograma estabelecido com base no histórico de manutenções anteriores e em dados estatísticos, garantindo que as intervenções sejam feitas no momento certo. Esse modelo de manutenção é definido como um conjunto de ações voltadas à prevenção de falhas, de modo a manter a performance dos equipamentos intacta.

Assim, a adoção desse modelo de manutenção assegura o aumento da vida útil das instalações, edifícios e equipamentos, resultando em uma redução significativa dos custos totais relacionados aos serviços de manutenção (GOMIDE *et al.*, 2006).

A partir da figura, é possível identificar que a manutenção preventiva é estruturada em três etapas principais: condições de intervenção, dados para o diagnóstico e aplicações. Na primeira etapa, a intervenção ocorre quando, após a análise de determinados dados, percebe-se que alguns parâmetros não estão dentro dos limites previamente estabelecidos. Os dados coletados permitem analisar a evolução desses parâmetros ao longo do tempo. Por fim, a fase de aplicações otimiza os custos, já que as paradas programadas contribuem para o aumento da produtividade (VILLANUEVA, 2015).

Outro modelo de manutenção mencionado anteriormente é a manutenção corretiva, que muitos especialistas consideram como a primeira estratégia de manutenção a ser adotada no ambiente profissional. Ela é caracterizada por um ciclo reativo, no qual as ações são tomadas apenas após a ocorrência de um problema ou falha. Embora seja uma estratégia comum, esse modelo é também o mais caro em comparação com os outros tipos de manutenção, como a preventiva e a preditiva. A realização adequada de manutenções preventivas e o acompanhamento regular podem reduzir significativamente a ocorrência de imprevistos. No entanto, é impossível eliminar completamente os riscos, o que torna inviável evitar totalmente o uso da manutenção corretiva (VILLANUEVA, 2015).

Segundo Gomide *et al.* (2006), a Manutenção Corretiva é definida como sendo a atividade que tem o objetivo de restaurar e reparar as anomalias e falhas que anteriormente não foram planejadas. De acordo com Deming (1990), a manutenção corretiva é dividida de duas maneiras quando se fala em sua estratégia adotada, que podem ser Manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada.

VANTAGENS DA MANUTENÇÃO ESTRATÉGICA VOLTADA PARA DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE
Aumento da disponibilidade e confiabilidade
Aumento da segurança pessoal e das instalações.
Redução da demanda de serviços.
Redução dos custos.
Preservação ambiental.

Figura 1. Vantagens da manutenção voltada para disponibilidade e confiabilidade

Fonte: VILLANUEVA (2015, p. 30)

Ao analisar a Figura 1, observa-se que a manutenção corretiva não é apenas uma estratégia para lidar com imprevistos indesejáveis, mas também envolve um acompanhamento prospectivo. É importante ressaltar que o alinhamento de estudos financeiros e técnicos torna essa forma de manutenção ainda mais lucrativa, com custos inferiores a outros modelos. A manutenção corretiva planejada, diferentemente da crença popular, é caracterizada pela correção da falha, sendo aplicada apenas após a ocorrência do problema (DEMING, 1990).

O último modelo a ser apresentado é a manutenção preditiva, que possibilita o planejamento e a definição de ações corretivas de forma antecipada, por meio da aplicação sistemática de técnicas de monitoramento. Com base no acompanhamento regular, esse tipo de manutenção reduz o número e os custos relacionados ao tempo de inatividade não planejado causado por falhas nos equipamentos, além de aumentar a disponibilidade dos ativos operacionais. A integração da manutenção preditiva em um programa de gestão total de ativos permite uma maior otimização das máquinas, equipamentos ou plantas, diminuindo significativamente os custos de manutenção. Em outras palavras, esse modelo está fortemente relacionado à manutenção preventiva, porém é acionado com base na condição real do equipamento (MALPICA, 2007).

Malpica (2007) apresenta alguns dos principais benefícios com a adoção desse modelo, como mostra a seguir:

- a) Grande redução dos riscos de acidentes e interrupções inesperadas da produção;
- b) Aumento da segurança;
- c) Aumento da disponibilidade de equipamentos;
- d) Redução dos prazos e custos das intervenções;
- e) Eliminação da troca prematura de componentes com vida útil remanescente ainda significativa;
- f) Aumento da vida útil.

A manutenção preventiva oferece diversas vantagens que, ao final, fazem uma grande diferença, sendo uma das principais a redução de custos desnecessários. Esse modelo é altamente eficaz na diminuição e prevenção de gastos, pois, ao adotá-lo, é possível evitar a necessidade de manutenção corretiva, que geralmente é mais onerosa devido à gravidade dos danos. Além disso, quando um erro é identificado, ele é corrigido de imediato, evitando problemas maiores no futuro. Esse tipo de manutenção permite uma verificação e monitoramento tanto da parte elétrica quanto da mecânica dos equipamentos. Dessa

maneira, o desempenho das máquinas é intensificado e seu funcionamento otimizado (BONIN, 1988).

Com base na apresentação da Figura 1, é possível observar o impacto positivo da manutenção estratégica, ou seja, a manutenção preventiva. Ela proporciona, entre outros benefícios, uma maior preservação ambiental, uma vez que reduz ao máximo o risco de grandes incêndios ou outros incidentes que poderiam causar danos ambientais significativos, diferentemente da manutenção corretiva. Outro ponto destacado é a redução de custos, já que a adoção da manutenção preventiva evita gastos elevados que seriam necessários para reparos corretivos, tornando esse modelo mais econômico.

Além disso, a manutenção preventiva oferece maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, o que resulta em um funcionamento mais eficiente e contínuo. Por fim, a segurança é uma das principais vantagens dessa abordagem, uma vez que a manutenção regular e programada minimiza a ocorrência de imprevistos, garantindo a proteção das pessoas, dos equipamentos e das instalações (SILVA, 2004).

Para garantir a eficiência e conservação dos equipamentos, edificações e instalações, é essencial realizar procedimentos programados e contínuos, que previnem o surgimento de problemas inesperados e indesejáveis, além de permitir uma previsão mais precisa dos custos. Rodrigues (2009) destaca como vantagens da manutenção preventiva a redução significativa no número total de intervenções corretivas, o que minimiza os custos e evita que essas intervenções ocorram em momentos inoportunos, como durante a noite, fins de semana ou períodos críticos de produção e distribuição. Outro benefício relevante é o aumento da taxa de utilização anual dos sistemas de produção e distribuição.

No entanto, como em qualquer modelo, a manutenção preventiva também apresenta desvantagens, como apontado na Tabela 1. Embora seus benefícios sejam muitos, há aspectos que podem ser vistos como limitações, como custos iniciais e o tempo necessário para paradas programadas.

Desvantagens da Manutenção preventiva

Alto Investimento inicial
Planejamento detalhado
Pode haver erro na avaliação e escolha da técnica

Tabela 1. Desvantagens da Manutenção Preventiva

Fonte: (Autor, 2022).

Conforme apresentado na Tabela 1, o modelo de manutenção preventiva possui algumas desvantagens. A primeira delas é o investimento inicial elevado quando comparado a outros modelos de manutenção. Embora traga uma grande economia a médio e longo prazo, essa abordagem exige um investimento significativo em ferramentas adequadas e mão de obra especializada. Outra desvantagem mencionada é a necessidade de um planejamento detalhado, que, se não for feito de forma correta, pode resultar em custos elevados no futuro. Portanto, é fundamental que o planejamento seja realizado com cautela e atenção, considerando todos os aspectos possíveis. Por fim, uma última desvantagem está relacionada à possibilidade de erros na avaliação e na escolha técnica de equipamentos que não são necessariamente críticos, o que pode comprometer o processo (FARIA, 1986).

De acordo com De Faria (1986), os sistemas de hidrantes têm a função de extinguir incêndios em sua fase inicial, ou seja, quando o fogo ainda não se alastrou. Isso significa que os hidrantes são fundamentais para proporcionar tempo para que os bombeiros possam

intervir de maneira segura. Da mesma forma, também se pode destacar a importância das tubulações e das bombas de recalque, que têm a função de deslocar água dentro das tubulações. O acionamento dessas bombas é feito de forma manual, por meio de um sistema “on/off”, mas em alguns casos pode ser automatizado pelo fluxo do tanque elevado ou por manômetros que monitoram reservatórios subterrâneos. Essas bombas podem ser movidas tanto por motores elétricos quanto por motores de combustão interna.

No que se refere à tubulação, é fundamental destacar que todos os materiais previstos ou instalados devem possuir alta resistência ao calor, assegurando o funcionamento adequado do sistema em condições extremas. É imprescindível que o conjunto completo, incluindo tubos, conexões e acessórios diversos, garanta tanto a estanqueidade quanto a estabilidade mecânica das juntas. Esses componentes não podem sofrer redução de desempenho quando expostos ao fogo. De acordo com a NBR 13714, nenhuma tubulação destinada à alimentação dos pontos de hidrantes pode ter um diâmetro nominal inferior a 65 mm (DAMASCENO, 2014).

De acordo com Gonçalves (1998), a instalação de iluminação de emergência tornou-se obrigatória em todos os locais que possuem circulação de pessoas, seja em vias horizontais ou verticais, bem como nas saídas para o exterior das edificações. Esse sistema de iluminação deve assegurar, em áreas com desnível, um mínimo de 5 lux, enquanto em áreas planas, onde o deslocamento é mais simples, esse valor pode ser reduzido para 3 lux. É importante que a iluminação permita a identificação de obstáculos que possam dificultar a circulação das pessoas. Diante disso, percebe-se o grande número de equipamentos de segurança contra incêndios e a grande importância de realizar sua manutenção preventiva, para que dessa forma seja evitado danos futuros, danos esses que podem ser irreparáveis.

3. CONCLUSÃO

A manutenção preventiva desempenha um papel essencial na proteção contra incêndios, assegurando que os sistemas e equipamentos de combate estejam sempre em condições ideais de funcionamento. Ao garantir a regularidade das inspeções e intervenções necessárias, a manutenção preventiva minimiza significativamente os riscos de falhas nos sistemas de segurança, como hidrantes, sprinklers e detectores de fumaça. Essa abordagem proativa não apenas protege o patrimônio, mas, principalmente, salva vidas ao prevenir situações de emergência que poderiam se agravar devido à inoperância dos dispositivos de combate ao fogo.

Além disso, a manutenção preventiva tem um impacto direto na preservação dos recursos financeiros da organização. Embora possa parecer que a manutenção corretiva, ao ser aplicada somente após uma falha, seja mais econômica no curto prazo, os custos de reparar sistemas danificados, somados aos potenciais perdas materiais e operacionais decorrentes de um incêndio, tornam essa abordagem muito mais onerosa a longo prazo. A prevenção, ao identificar e corrigir falhas incipientes, evita que pequenos problemas se transformem em grandes emergências, garantindo que o sistema de combate a incêndios esteja sempre pronto para atuar quando necessário.

Outro aspecto relevante da manutenção preventiva é seu efeito na proteção do meio ambiente. Equipamentos de combate a incêndio, como extintores e hidrantes, são projetados para minimizar os danos não apenas às pessoas e bens, mas também ao ambiente. A manutenção regular assegura que os sistemas operem com eficiência, reduzindo o risco de incêndios de grandes proporções que poderiam causar impactos ambientais severos.

Além disso, a utilização de tecnologias sustentáveis e de equipamentos modernos, associados a práticas de manutenção preventiva, contribui para a eficiência energética e a redução do desperdício de recursos.

O principal objetivo da manutenção preventiva é planejar, controlar e executar dentro dos prazos definidos, mantendo e preservando o bom funcionamento das máquinas e equipamentos. Isso permite compreender diferentes tipos de manutenção, incluindo preventiva, preditiva e corretiva. Além disso, algumas vantagens e desvantagens foram descritas. Pouco tempo depois, foram introduzidos alguns equipamentos de segurança contra incêndio, bem como a importância destes equipamentos em situação de incêndio e a importância da manutenção de cada um para permitir mais eficiência e flexibilidade no processo, caso necessário, seu funcionamento.

Diante disso, você verá que todos os objetivos definidos foram alcançados com sucesso. Também permite compreender diferentes tipos de manutenção, incluindo preventiva, preditiva e corretiva. Além disso, revisões bibliográficas e estudos de dados permitiram compreender a manutenção preventiva e seus conceitos, para os quais consideramos as vantagens e desvantagens, bem como os objetivos específicos das apresentações atuais de alguns conceitos de manutenção preventiva. Adote este método e compare dois cenários antes e depois da manutenção preventiva para mostrar o desempenho da máquina.

Por fim, a manutenção preventiva fortalece a confiança e a segurança no ambiente de trabalho. Quando as pessoas sabem que os sistemas de combate a incêndios estão em perfeito estado de funcionamento, elas se sentem mais seguras e protegidas. Essa segurança não apenas melhora o bem-estar dos ocupantes, mas também aumenta a produtividade e o desempenho geral da organização. Em resumo, a manutenção preventiva é uma ferramenta indispensável para a proteção contra incêndios, oferecendo benefícios econômicos, ambientais e sociais, ao mesmo tempo que garante a segurança e a preservação do patrimônio e da vida humana.

Além disso, este trabalho alcançou o que foi proposto. Com isso, pelo que foi dito, é possível compreender o quão importante é o estudo desse tema, pois ele vem ocupando cada vez mais espaço na sociedade e sua discussão permite que a sociedade conheça mais sobre o tema. Além disso, é importante destacar os aspectos positivos que oferece à comunidade científica, pois seu estudo possibilita e abre portas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Referências

- ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo**. Pesquisa Operacional, v. 25, p. 69-81, 2005.
- BOSA, Jefferson Luiz. **Sistema embarcado para a manutenção inteligente de atuadores elétricos**. 2009.
- DAMASCENO, Luiz Fernando C. **SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIOS POR CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DE ÁGUAS-ESTUDO DA TECNOLOGIA E APLICAÇÃO**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DE FARIA, A.A. **Manual de Prevenção Contra Incêndio**. Belo Horizonte: Academia de Polícia Militar da PMMG, 1986.
- DEMING, W. E. **Qualidade: A Revolução da administração. Tradução de Clave Comunicações**. Título original "Out of Crisis". Editora Marques – Saraiva. Rio de Janeiro, 1990.
- GOMIDE, Tito L. F., PUJADAS, Flávia Z. A., NETO, Jerônimo C. P. F. **Técnicas de inspeção e manutenção predial: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção X valorização patrimonial, análise de risco**. São Paulo, Editora PINI, 2006.



MALPICA, Luis Gustavo Torquatro. **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes.** 2007.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de, **Planejamento estratégico : conceitos, metodologia e práticas.** São Paulo: Atlas, 2007. RIIS J.O., LUXHOJ J.T.,

RODRIGUES, Marcelo et al. **Confiabilidade humana aplicada na execução de manutenção preventiva em computador de derivação em carga tipo MIII do transformador de potência de 20mva a 150mva.** 2015.

RODRIGUES, J. F. A; **Manutenção Preventiva e Corretiva, Apostila do Curso Técnico em Segurança do Trabalho.** SENAC-PA, 2009.

SILVA, Romeu Paulo. **Gerenciamento do Setor de Manutenção. Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté.** Taubaté – SP. 2004. 92p.

ULRICH, Schiefer et alli. MAPA – **Manual de Planejamento e Avaliação de Projetos.** 1. ed. Cascais: Principia, 2002.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação.** Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

Resumo

A busca por maior eficiência energética em motores de combustão interna é uma preocupação crescente nos setores automotivo e industrial, especialmente diante da necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de gases poluentes. Nesse contexto, os motores do ciclo Otto e do ciclo Diesel se destacam como as principais tecnologias utilizadas em veículos e maquinários, cada uma com características específicas de desempenho, consumo e impacto ambiental. Este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente esses dois tipos de motores, considerando aspectos como eficiência térmica, consumo de combustível, emissões poluentes e inovações tecnológicas recentes. A pesquisa inclui uma revisão sistemática da literatura e busca compreender os avanços e limitações de cada tecnologia frente às exigências ambientais e à transição energética. Com isso, pretende-se fornecer subsídios relevantes para pesquisadores, engenheiros e profissionais da indústria, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis e eficientes no setor de transportes e energia.

Palavras-chave: Eficiência energética. Motores Otto. Motores Diesel. Emissões poluentes. Tecnologias automotivas.

Abstract

The search for greater energy efficiency in internal combustion engines is a growing concern in the automotive and industrial sectors, especially given the need to reduce fossil fuel consumption and pollutant gas emissions. In this context, Otto cycle and Diesel cycle engines stand out as the main technologies used in vehicles and machinery, each with specific performance, consumption and environmental impact characteristics. This work aims to comparatively analyze these two types of engines, considering aspects such as thermal efficiency, fuel consumption, pollutant emissions and recent technological innovations. The research includes a systematic review of the literature and seeks to understand the advances and limitations of each technology in the face of environmental demands and the energy transition. With this, it is intended to provide relevant subsidies for researchers, engineers and industry professionals, contributing to the development of more sustainable and efficient solutions in the transportation and energy sectors.

Keywords: Energy efficiency. Otto engines. Diesel engines. Pollutant emissions. Automotive technologies.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética de motores de combustão interna tem sido uma preocupação constante no setor automotivo e industrial, especialmente diante da crescente necessidade de redução do consumo de combustíveis fósseis e das emissões de gases poluentes. Nesse cenário, os motores do ciclo Otto e do ciclo Diesel representam duas das principais tecnologias utilizadas em veículos e maquinários, cada um com características particulares de desempenho, consumo e impacto ambiental. Enquanto os motores Otto são amplamente empregados em automóveis leves devido à sua operação mais silenciosa e menor custo inicial, os motores Diesel se destacam pela eficiência térmica superior e maior torque em baixas rotações, tornando-os preferíveis em aplicações que exigem força e durabilidade.

No entanto, a escolha entre essas tecnologias não se baseia apenas em características isoladas, mas sim em um conjunto de fatores que influenciam sua eficiência global. O problema central abordado neste estudo é: qual é o panorama atual da eficiência energética comparativa entre motores Otto e Diesel, considerando fatores como consumo de combustível, potência máxima, emissões poluentes e tecnologias avançadas, conforme evidenciado pela literatura científica recente? Essa análise é essencial para compreender os avanços e limitações de cada tipo de motor e sua relevância no contexto da transição energética e das novas regulamentações ambientais.

Diante desse problema, o objetivo geral deste trabalho foi realizar uma análise abrangente e comparativa entre motores Otto e Diesel, abordando seus princípios fundamentais, eficiências térmicas, revisão sistemática da literatura, tecnologias avançadas e tendências futuras. Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: investigar os princípios de funcionamento dos motores Otto e Diesel, destacando suas principais diferenças e semelhanças; comparar a eficiência térmica, o consumo de combustível e as emissões poluentes de ambos os motores, com base em estudos recentes e analisar as principais inovações tecnológicas aplicadas a esses motores.

Logo por meio dessa abordagem, espera-se contribuir para um melhor entendimento sobre a eficiência energética dos motores Otto e Diesel, fornecendo informações relevantes para pesquisadores, engenheiros e profissionais da indústria automotiva. A relevância deste estudo está na possibilidade de auxiliar na tomada de decisões estratégicas sobre o desenvolvimento de novas tecnologias, a escolha de sistemas mais adequados para cada aplicação e a adoção de práticas sustentáveis no setor de transportes e energia.

Assim, este trabalho busca não apenas apresentar um panorama técnico sobre a eficiência desses motores, mas também destacar os desafios e oportunidades para sua evolução no futuro. Ao considerar os avanços tecnológicos e as mudanças nas regulamentações ambientais, a comparação entre motores Otto e Diesel torna-se fundamental para guiar o setor rumo a um cenário mais sustentável e eficiente.

A metodologia adotada neste estudo baseia-se em uma revisão sistemática da literatura, de caráter qualitativo e descritivo, com o objetivo de analisar comparativamente a eficiência energética entre motores Otto e Diesel. A pesquisa foi conduzida por meio da seleção e análise de artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos disponíveis em bases de dados acadêmicas e científicas, como Google Acadêmico, Scielo, Periódicos CAPES e repositórios institucionais. Foram priorizados trabalhos publicados nos últimos dez anos, visando garantir a atualidade e relevância dos dados analisados, especialmente aqueles que discutem consumo de combustível, potência máxima, emissões poluentes e

inovações tecnológicas aplicadas a esses motores.

Os critérios de inclusão adotados foram publicações em português e inglês que abordassem diretamente a eficiência energética de motores Otto e Diesel, considerando tanto estudos experimentais quanto análises teóricas. Foram excluídos artigos de revisão sem abordagem metodológica clara, resumos de eventos, documentos indisponíveis para acesso integral e aqueles que não apresentassem relação direta com os objetivos da pesquisa.

A busca foi realizada utilizando descritores específicos, como “eficiência energética de motores Otto e Diesel”, “comparação de consumo de combustível entre motores Otto e Diesel”, “emissões poluentes em motores de combustão interna” e “tecnologias para otimização de motores Otto e Diesel”. A partir dos resultados obtidos, foram selecionados os estudos mais relevantes, permitindo uma análise crítica e comparativa sobre os avanços tecnológicos, desafios e impactos ambientais dessas tecnologias. Com essa abordagem, este estudo busca fornecer um panorama consolidado do tema, contribuindo para a compreensão dos fatores que influenciam a escolha e o desenvolvimento desses motores no contexto atual da engenharia e sustentabilidade.

2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E EFICIÊNCIA TÉRMICA DOS MOTORES OTTO E DIESEL

Os motores Otto e Diesel operam com base em princípios termodinâmicos distintos, o que resulta em diferenças significativas no funcionamento e na eficiência térmica de cada um. O ciclo Otto, utilizado em motores a gasolina, segue um processo de combustão por centelha, onde a mistura ar-combustível é previamente preparada e inflamada por uma faísca elétrica. Já o ciclo Diesel, empregado em motores a diesel, funciona por compressão espontânea, em que apenas o ar é comprimido até atingir uma temperatura elevada o suficiente para inflamar o combustível injetado. Essas diferenças resultam em características operacionais específicas, como a necessidade de velas de ignição nos motores Otto e de sistemas de injeção de alta pressão nos motores Diesel (Brunetti, 2018; Martins, 2012).

A eficiência térmica, um dos principais parâmetros de desempenho dos motores de combustão interna, é diretamente influenciada pelo tipo de ciclo adotado. Motores Diesel, devido à sua maior taxa de compressão, apresentam uma eficiência térmica superior quando comparados aos motores Otto. Isso ocorre porque, no ciclo Diesel, a expansão do gás ocorre de maneira mais eficiente, convertendo uma fração maior da energia do combustível em trabalho útil. Como consequência, motores Diesel tendem a apresentar um consumo de combustível menor para a mesma quantidade de energia gerada, sendo amplamente utilizados em aplicações que demandam alta eficiência, como veículos de carga e transporte de longa distância (Egúsqiza, 2011; Leal; Cosoni, 2021).

A taxa de compressão é um fator determinante para a eficiência térmica de um motor, pois afeta diretamente a combustão do combustível e a conversão da energia térmica em energia mecânica. Motores Otto geralmente operam com taxas de compressão menores, variando entre 8:1 e 12:1, devido à necessidade de evitar a detonação espontânea da mistura combustível-ar. Em contrapartida, motores Diesel trabalham com taxas significativamente mais altas, geralmente entre 14:1 e 22:1, o que favorece uma combustão mais completa e um melhor aproveitamento energético do combustível. Essa diferença explica por que motores Diesel são mais econômicos e possuem maior autonomia em relação aos motores a gasolina (Abreu, Lima; Senra, 2014; Carvalho, 2018).

Outro aspecto relevante para o desempenho energético dos motores é o processo de

combustão. Nos motores Otto, a combustão ocorre quase instantaneamente após a ignição, resultando em um aumento rápido de pressão e temperatura na câmara de combustão. Nos motores Diesel, por outro lado, a combustão ocorre de forma progressiva, à medida que o combustível é injetado e misturado ao ar quente comprimido. Esse processo de combustão mais controlado reduz as perdas de calor e melhora a eficiência global do motor. Entretanto, também resulta em um funcionamento mais ruidoso e em uma maior emissão de óxidos de nitrogênio (NOx), o que exige o uso de sistemas de pós-tratamento de gases para atender às regulamentações ambientais (Baeta, Pontoppidan; Silva, 2019; Hidalgo, 2022).

Além das diferenças inerentes aos ciclos termodinâmicos, a escolha do combustível tem um papel crucial na eficiência e no impacto ambiental dos motores Otto e Diesel. O uso de combustíveis alternativos, como etanol e hidrogênio, tem sido estudado como uma solução para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de poluentes. Pesquisas indicam que a injeção direta de etanol pode ser uma alternativa viável para substituir motores de alta cilindrada movidos a gasolina, proporcionando um melhor rendimento energético (Baeta, Pontoppidan; Silva, 2019; Abreu, Lima; Senra, 2014).

O aprimoramento dos sistemas eletrônicos de injeção também desempenha um papel fundamental na otimização do desempenho dos motores. Estudos mostram que o controle preciso da injeção de combustível pode melhorar a eficiência e reduzir o consumo, além de minimizar a emissão de gases nocivos ao meio ambiente. Tecnologias como a injeção direta e a ignição eletrônica vêm sendo cada vez mais empregadas em motores Otto para aumentar a eficiência e o desempenho (Kumagai, 2022; Carvalho, 2018).

A mobilidade elétrica surge como uma alternativa à combustão interna, reduzindo drasticamente a emissão de gases poluentes. Empresas do setor automotivo, como BYD e Hino, têm investido em tecnologias para a produção de ônibus e caminhões elétricos, visando substituir gradativamente os motores a combustão em aplicações urbanas e de transporte de carga (Bazani, 2020; Nascimento, 2020).

A introdução de tecnologias híbridas, que combinam motores de combustão interna com motores elétricos, também tem se mostrado uma solução viável para aumentar a eficiência e reduzir o consumo de combustível. Esses sistemas permitem que o motor elétrico opere em condições de baixa demanda energética, reduzindo o desgaste do motor térmico e aumentando sua vida útil (Hidalgo, 2022).

As regulamentações ambientais têm pressionado a indústria a desenvolver motores cada vez mais eficientes e menos poluentes. Normas como o Euro 6 exigem a redução das emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado, forçando os fabricantes a investirem em tecnologias de pós-tratamento de gases, como catalisadores e filtros de partículas (Egúsqiza, 2011; Martins, 2012).

A escolha entre motores Otto e Diesel depende das necessidades específicas de aplicação, considerando fatores como eficiência térmica, consumo de combustível e desempenho energético. Motores Otto, apesar de apresentarem menor eficiência térmica, possuem uma resposta mais ágil e são mais adequados para veículos leves e de alta rotação (Leal; Cosoni, 2021). Já os motores Diesel, com sua maior taxa de compressão e eficiência superior, são preferidos em veículos pesados e equipamentos industriais que demandam alta autonomia e baixo consumo de combustível. O avanço tecnológico tem permitido melhorias em ambos os tipos de motores, tornando-os mais eficientes e menos poluentes, garantindo sua relevância no setor automotivo e na indústria em geral (Bazani, 2020; Kumagai, 2022; Nascimento, 2020).

3. COMPARAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES POLUENTES

A comparação do consumo de combustível e das emissões poluentes entre diferentes motores e condições operacionais é fundamental para compreender a eficiência energética e o impacto ambiental dos veículos automotores. O consumo específico de combustível é um dos principais parâmetros analisados, pois indica a quantidade de combustível necessária para produzir uma determinada quantidade de energia. Essa variável pode ser influenciada por fatores como regime de operação, carga do motor, tipo de combustível utilizado e tecnologia empregada no sistema de combustão (Brunetti, 2018; Martins, 2012).

Em condições operacionais variáveis, o consumo de combustível pode ser significativamente alterado. Motores operando em baixas rotações e com carga reduzida tendem a apresentar maior consumo específico, uma vez que a eficiência térmica é menor. Por outro lado, motores operando em sua faixa ideal de torque apresentam melhor aproveitamento energético, reduzindo o desperdício de combustível e as emissões poluentes. Fatores como aerodinâmica do veículo, resistência ao rolamento e estilo de condução também desempenham um papel crucial nesse consumo (Carvalho, 2018).

No que se refere às emissões poluentes, os motores Otto e Diesel apresentam características distintas. Os motores Otto, que operam com ignição por centelha e utilizam gasolina ou etanol, tendem a emitir maiores quantidades de CO_2 devido ao menor rendimento térmico (Abreu; Lima; Senra, 2014). No entanto, esses motores possuem menor emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado quando comparados aos motores Diesel, devido à forma como a combustão ocorre (Santos; Passarini, 2015).

Os motores Diesel, por sua vez, apresentam maior eficiência térmica, o que pode resultar em menor consumo de combustível em determinadas aplicações, como no transporte de cargas pesadas. No entanto, esses motores tendem a emitir maiores quantidades de NO_x e material particulado, o que pode contribuir para problemas ambientais e de saúde pública. O controle dessas emissões é um desafio constante para a indústria automotiva e tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias (Egúsqiza, 2011).

As regulamentações ambientais têm desempenhado um papel fundamental na evolução dos motores Otto e Diesel. Normas como o Euro 6, nos países europeus, e o Proconve P8, no Brasil, estabelecem limites rígidos para emissões de poluentes, forçando os fabricantes a adotarem tecnologias mais eficientes, como sistemas de pós-tratamento de gases, injeção direta de combustível e motores híbridos (Leal; Cosoni, 2021).

O uso de catalisadores e filtros de partículas tem sido uma solução eficaz para reduzir as emissões poluentes dos motores Otto e Diesel. Nos motores Otto, os conversores catalíticos promovem a oxidação do monóxido de carbono (CO) e dos hidrocarbonetos não queimados, reduzindo a toxicidade dos gases de escape. Nos motores Diesel, os filtros de partículas capturam e eliminam o material particulado antes de sua liberação na atmosfera (Serpa et al., 2018).

A introdução do sistema de Redução Catalítica Seletiva (SCR) nos motores Diesel também foi um avanço significativo na mitigação das emissões de NO_x . Esse sistema utiliza um reagente químico, como a ureia (ARLA 32), para converter os óxidos de nitrogênio em nitrogênio e vapor d'água, reduzindo o impacto ambiental. Dessa forma, os motores Diesel modernos conseguem atender a padrões mais rigorosos de emissões (Neocharge, 2020).

Além das regulamentações, o desenvolvimento de combustíveis alternativos tem sido uma estratégia para reduzir as emissões poluentes e o consumo de combustíveis fósseis. O uso de biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, tem se mostrado uma alter-

nativa viável para minimizar a pegada de carbono do setor de transportes. Os motores flex, por exemplo, permitem o uso de gasolina e etanol de forma combinada, proporcionando maior versatilidade ao consumidor (Baeta; Pontoppidan; Silva, 2019).

A eletrificação veicular também tem ganhado destaque como uma solução para reduzir as emissões de poluentes e melhorar a eficiência energética. Veículos híbridos e elétricos têm se tornado mais acessíveis, impulsionados por políticas de incentivo e avanços tecnológicos (Silveira, 2021). Apesar dos desafios relacionados à infraestrutura de recarga e ao custo inicial, essa tecnologia tem o potencial de transformar a matriz energética do setor automotivo (Venditti, 2021).

A comparação entre consumo de combustível e emissões poluentes revela a necessidade de um equilíbrio entre eficiência energética e impacto ambiental. A evolução dos motores, aliada a políticas ambientais e ao desenvolvimento de novas tecnologias, tem permitido avanços significativos na redução de emissões. A busca por soluções mais limpas e eficientes continua sendo essencial para enfrentar os desafios ambientais e garantir um transporte mais sustentável no futuro (Bazani, 2020; Nascimento, 2020; Hidalgo, 2022).

4. TECNOLOGIAS AVANÇADAS E TENDÊNCIAS FUTURAS PARA OTIMIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A otimização da eficiência energética é um dos principais desafios no desenvolvimento de tecnologias automotivas, com ênfase em motores de combustão interna, híbridos e elétricos. No contexto dos motores Otto e Diesel, inovações tecnológicas, como injeção direta, turbocompressores e combustíveis alternativos, têm se mostrado fundamentais para melhorar o desempenho e reduzir as emissões de gases poluentes. A injeção direta, por exemplo, permite uma melhor atomização do combustível, o que resulta em uma combustão mais eficiente, aumentando a potência do motor e reduzindo o consumo de combustível (Santos; Passarini, 2015).

Além da injeção direta, o uso de turbocompressores também contribui para a otimização da eficiência energética. Os turbocompressores aproveitam a energia dos gases de escape para aumentar a quantidade de ar comprimido que entra no motor, permitindo que mais combustível seja queimado e, assim, proporcionando mais potência sem aumentar significativamente o consumo de combustível (Brunetti, 2018).

Os combustíveis alternativos desempenham um papel crucial na melhoria da eficiência energética dos motores de combustão. Combustíveis como o etanol, o biodiesel e o GNV (gás natural veicular) têm se destacado como alternativas sustentáveis que emitem menos CO₂ em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais. A pesquisa e o desenvolvimento de novos tipos de biocombustíveis, como os derivados de algas e resíduos orgânicos, podem representar grandes avanços na redução do impacto ambiental dos motores de combustão (Egúszuza, 2011).

Os motores híbridos, que combinam motores de combustão interna com motores elétricos, são outra solução inovadora para aumentar a eficiência energética. A capacidade de alternar entre os dois sistemas, conforme as necessidades de potência e eficiência, permite uma significativa redução do consumo de combustível e das emissões de gases poluentes. Além disso, a regeneração de energia durante as frenagens, característica comum em sistemas híbridos, contribui para um aumento ainda maior da eficiência energética (Leal; Cosoni, 2021).

O uso de biocombustíveis em motores híbridos também oferece um grande poten-



cial de redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao substituir parcialmente os combustíveis fósseis, esses biocombustíveis ajudam a promover uma redução considerável na pegada de carbono do setor automotivo. Além disso, a implementação de biocombustíveis nas infraestruturas existentes, como postos de combustível, torna a transição para uma mobilidade mais sustentável mais viável (Carvalho, 2018).

O futuro do setor automotivo está cada vez mais voltado para a eletrificação, com veículos totalmente elétricos e híbridos plug-in ganhando popularidade. A eletrificação não só oferece uma solução para a redução de emissões, mas também promete uma revolução na eficiência energética. Os motores elétricos são extremamente eficientes, convertendo a maior parte da energia da bateria em movimento, ao contrário dos motores de combustão, que perdem uma quantidade significativa de energia na forma de calor (Neocharge, 2020).

Além disso, a crescente demanda por veículos elétricos está impulsionando o desenvolvimento de baterias mais eficientes e com maior capacidade de armazenamento de energia. A evolução das baterias de íon de lítio e o surgimento de novas tecnologias, como as baterias de estado sólido, podem representar um marco importante na melhoria da eficiência energética e na redução do tempo de recarga, facilitando a adoção em massa de veículos elétricos (Bazani, 2020).

Outra tendência importante é a adoção de sistemas de gestão inteligente de energia, que permitem otimizar o uso de energia nos veículos. Esses sistemas são capazes de ajustar automaticamente o consumo de energia com base nas condições de direção, no estado da bateria e no comportamento do motorista. Com a integração de tecnologias como a inteligência artificial e o aprendizado de máquina, é possível criar estratégias de otimização mais precisas e eficientes, aumentando ainda mais a autonomia e a economia de energia (Venditti, 2021).

Em termos de infraestrutura, o aumento da adoção de veículos elétricos exige melhorias significativas nas redes de recarga. A instalação de pontos de recarga rápidos e de fácil acesso é fundamental para garantir a conveniência e a viabilidade do uso de veículos elétricos em larga escala. Além disso, o desenvolvimento de soluções de recarga inteligente, que otimizam o uso de energia com base na demanda e na oferta, pode ajudar a melhorar a eficiência energética de todo o sistema de transporte (Kumagai, 2022).

O futuro da eficiência energética no setor automotivo também está intimamente ligado à convergência de várias tecnologias, como a condução autônoma, a conectividade e a mobilidade compartilhada. A otimização do tráfego por meio de sistemas de transporte inteligentes, que coordenam veículos em tempo real, pode reduzir o consumo de energia e melhorar a eficiência geral do sistema de transporte. Com a integração de tecnologias como o 5G e a IoT, o futuro da mobilidade promete ser mais sustentável e eficiente do ponto de vista energético (Baeta et al., 2019).

Com todas essas inovações e tendências, o setor automotivo caminha para uma transformação profunda em termos de eficiência energética. A combinação de motores de combustão melhorados, veículos híbridos, biocombustíveis e eletrificação está moldando um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente, alinhado com as necessidades ambientais e econômicas globais (Hidalgo, 2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente análise comparativa demonstrou que os motores Otto e Diesel possuem

características distintas que influenciam diretamente sua eficiência energética e aplicação. Os motores Diesel, por operarem com taxas de compressão mais elevadas, apresentam maior eficiência térmica e menor consumo específico de combustível, sendo mais indicados para veículos pesados e aplicações que demandam força e durabilidade. Já os motores Otto, embora menos eficientes em termos energéticos, são amplamente utilizados em veículos leves devido ao seu funcionamento mais silencioso, menor custo de produção e manutenção, além de apresentarem melhor desempenho em ciclos urbanos.

Com base na revisão da literatura e nas evidências científicas recentes, percebe-se que a eficiência energética de ambos os motores tem evoluído significativamente com o avanço de novas tecnologias. Inovações como a injeção direta de combustível, o uso de turbocompressores, sistemas de controle eletrônico e melhorias nos sistemas de pós-tratamento de emissões têm permitido reduzir os impactos ambientais e aumentar o rendimento dos motores. Essas melhorias são especialmente importantes no atual cenário de transição energética, onde a busca por soluções mais limpas e sustentáveis é prioridade para a indústria automotiva.

Dessa forma, a escolha entre motores Otto e Diesel deve considerar não apenas fatores de desempenho e consumo, mas também as exigências ambientais, o tipo de aplicação e a viabilidade econômica. A análise realizada reforça a importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento para ampliar a eficiência energética e minimizar os impactos ambientais desses sistemas. Com isso, espera-se que os resultados deste estudo contribuam para decisões mais conscientes e estratégicas no setor de transportes, promovendo avanços rumo a um modelo energético mais eficiente e sustentável.

Referências

- ABREU, Rodrigo Araújo de; LIMA, Kelly Aparecida Moreira de; SENRA, Fernando Osório. **Estudo da aplicação de hidrogênio e gasolina em motor ciclo Otto**. São Paulo, 2014.
- BAETA, J. G. C.; PONTOPPIDAN, M.; SILVA, T. R. V. Exploring the limits of a down-sized ethanol direct injection spark ignited engine in different configurations in order to replace high-displacement gasoline engines. **Energy Conversion and Management**, Vol. 105, p. 858-871, Belo Horizonte, MG, 2019.
- BAZANI, Adamo. Chinesa BYD e japonesa Hino assinam acordo de criação de nova empresa para produzir ônibus e caminhões elétricos. **Diário do Transporte**, São Paulo, 11 out. 2020.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**. v. 1, 2 ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Dissertação (Mestrado) – UFA, Salvador, BA, 2018.
- EGÚSQUIZA, J. C. C. **Avaliação Experimental de um Motor do ciclo Diesel operando no modo Bicomcombustível: Diesel/Etanol e Diesel/Gás**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio, 2011.
- HIDALGO, Mario D. C. **Eficiência energética: a chave para a mineração do futuro**, 23 nov. 2022.
- KUMAGAI, Gleidson Thiaky. **Aprimoramento do sistema eletrônico de injeção para motores ciclo Otto**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, 2022.
- LEAL, T. A. C. B.; COSONI, F. L. **Emissões poluentes dos veículos: impacto dos combustíveis utilizados e potencialidades da mobilidade elétrica**. Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, Brasília, Distrito Federal, 2021.
- MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Porto: Publindústria Edições Técnicas, 2012.
- NASCIMENTO, Simon. **Minas Gerais é escolhido para projeto-piloto internacional sobre mudanças climáticas**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), Minas Gerais, 28 abr. 2020.



NEOCHARGE. **Como funciona o motor de um carro elétrico.** São Paulo, NEOCHARGE, 2020.

SANTOS, R. F. E.; PASSARINI, L. C. **Injeção direta de combustível em motores de ignição por centelha.** ABCM, USP, São Carlos, 2015.

SERPA, Eric et al. Avaliação de um motor de combustão interna do ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis. *Exatas & Engenharias*, v. 8, n. 22, 2018.

SILVEIRA, Flávio. **Carros elétricos mais vendidos do Brasil em 2020:** confira o ranking e veja todos os elétricos à venda hoje. *Motorshow*, São Paulo, 11 jan. 2021.

VENDITTI, Mário Sergio. **Pontos de recarga são o oxigênio dos veículos elétricos.** *Estadão*, São Paulo, 19 jan. 2021.

Resumo

O objetivo deste trabalho é abordar o papel que os materiais avançados desempenham, na engenharia aeroespacial, através de uma pesquisa bibliográfica, devido às suas propriedades únicas que atendem às exigências rigorosas de desempenho, eficiência e segurança. Metais, como ligas de alumínio e titânio, são amplamente utilizados por sua resistência e leveza, enquanto compósitos, especialmente aqueles reforçados com fibras de carbono, têm sido cada vez mais populares desde a década de 1960 por sua capacidade de reduzir o peso e aumentar a resistência estrutural. Onde, a combinação de metais e compósitos permite a criação de estruturas híbridas que maximizam as vantagens de ambos, resultando em aeronaves mais leves e eficientes. A investigação dos desafios na aplicação desses materiais é crucial, pois há uma demanda por aeronaves mais leves e eficientes, ajudando a reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa para atender às diretrizes globais de sustentabilidade.

Palavras-chave: Materiais. Metais. Compósitos. Aeroespacial.

Abstract

The aim of this work is to address the role that advanced materials play in aerospace engineering through a bibliographic review, due to their unique properties that meet rigorous demands for performance, efficiency, and safety. Metals, such as aluminum and titanium alloys, are widely used for their strength and lightness, while composites, especially those reinforced with carbon fibers, have been increasingly popular since the 1960s for their ability to reduce weight and increase structural strength. The combination of metals and composites allows for the creation of hybrid structures that maximize the advantages of both, resulting in lighter and more efficient aircraft. Investigating the challenges in applying these materials is crucial, as there is a demand for lighter and more efficient aircraft, helping to reduce fuel consumption and greenhouse gas emissions to meet global sustainability guidelines.

Keywords: Materials. Metals. Composites. Aerospace.

1. INTRODUÇÃO

Materiais avançados desempenham um papel crucial na engenharia aeroespacial. A demanda por desempenho, eficiência e segurança é extremamente alta nesse setor. Entre esses materiais, os metais e compósitos se destacam por suas propriedades únicas. Os metais, como ligas de alumínio e titânio, são amplamente utilizados devido à sua resistência e leveza. Os compósitos combinam diferentes materiais para otimizar suas características e reduzir o peso. Eles aumentam a resistência estrutural, tornando-se cada vez mais populares na indústria.

Desde a década de 1960, compósitos avançados, especialmente reforçados com fibras de carbono, têm sido usados em aeronaves e veículos espaciais. Eles oferecem flexibilidade no design e resistência a condições extremas. A utilização desses materiais melhora o desempenho das aeronaves e aumenta a eficiência do combustível, ajudando a reduzir as emissões de carbono. Os metais, como ligas de alumínio e titânio, são essenciais na engenharia aeroespacial devido à sua alta resistência e resistência à corrosão. Eles são usados em fuselagens e motores. A combinação de metais com compósitos permite criar estruturas híbridas que maximizam as vantagens de ambos, resultando em aeronaves mais leves e eficientes.

A tecnologia avançada está impulsionando o desenvolvimento de novos materiais inovadores, como ligas metálicas multifuncionais e compósitos fabricados por impressão 3D. Essas inovações prometem melhorar o desempenho das aeronaves e abrir novas possibilidades para a exploração espacial, além de contribuir para veículos mais sustentáveis e eficientes. A evolução contínua dos materiais reflete o compromisso da indústria em superar desafios e atender às demandas crescentes do mercado.

A investigação dos desafios e limitações na aplicação de materiais avançados na engenharia aeroespacial é crucial devido à demanda por aeronaves mais leves e eficientes, que contribuem para a redução do consumo de combustível e das emissões de gases de efeito estufa. A indústria opera sob rigorosos padrões de segurança, exigindo um entendimento profundo das propriedades mecânicas dos materiais em condições extremas. A pesquisa sobre esses materiais é vital para garantir segurança e eficácia das operações aéreas. Além disso, a complexidade dos processos de fabricação apresenta desafios, como a necessidade de novos métodos de teste e manutenção, promovendo o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e tem implicações econômicas significativas, contribuindo para a competitividade e práticas mais sustentáveis.

Como uma combinação de metais avançados e compostos pode melhorar a eficiência estrutural e a sustentabilidade das aeronaves modernas, considerando os desafios de resistência a altas temperaturas e redução de peso? Analisar o uso de materiais avançados, especificamente metais e compósitos, na engenharia aeroespacial, com foco em suas propriedades, aplicações, desafios e inovações que podem contribuir para o desenvolvimento de aeronaves mais eficientes e sustentáveis.

Investigar as propriedades mecânicas e térmicas dos principais metais e compósitos utilizados na indústria aeroespacial e como essas características influenciam o desempenho das aeronaves; avaliar os processos de fabricação e as técnicas de manutenção associadas ao uso de compósitos e metais, identificar as melhores práticas e os desafios enfrentados no setor; e, explorar as inovações recentes em materiais e tecnologias que podem melhorar a eficiência e a sustentabilidade das aeronaves, incluindo a análise de novos compósitos e ligas metálicas avançadas.



2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste artigo baseou-se exclusivamente em revisão bibliográfica, com o objetivo de reunir e analisar informações relevantes sobre materiais avançados utilizados na engenharia aeroespacial, especificamente metais e compósitos. A pesquisa foi realizada por meio da revisão de literatura existente em livros, artigos acadêmicos, teses e publicações científicas, incluindo artigos publicados em português e inglês, com o período de 10 anos, tendo algumas exceções, excluindo resumos, primeiras impressões e revisões, buscando fontes confiáveis e atualizadas que abordassem as propriedades, aplicações e desafios associados a esses materiais. A seleção das fontes foi feita com critérios rigorosos, priorizando publicações de instituições renomadas e especialistas na área, o que garantiu a qualidade e a credibilidade das informações coletadas, usando palavras chaves como Aeroespacial, Metais, Compósitos e Resistência. Além disso, foram utilizados bancos de dados acadêmicos e plataformas digitais, como o Google Acadêmico e a Scielo, para acessar uma ampla gama de estudos e pesquisas, permitindo uma visão abrangente sobre o tema. A análise dos dados coletados possibilitou a identificação de tendências, inovações e lacunas no conhecimento, contribuindo para uma compreensão mais profunda da aplicação de materiais avançados na engenharia aeroespacial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A indústria aeroespacial é considerada um setor com grande importância a nível mundial, pois produz a mais vasta gama de produtos de alta tecnologia, com um amplo e variado leque de aplicações. Por essa razão, trata-se de um setor que pode ser considerado estratégico do ponto de vista industrial, comercial e tecnológico. Ainda, o setor aeroespacial representa um importante papel no campo da educação, contribuindo para o desenvolvimento das ciências da engenharia, da indústria, dos transportes e do comércio (Santos, 1997).

A seleção de materiais adequados para projetos do setor aeronáutico assume significativa importância à medida que estes projetos adotam critérios e normas de segurança mais rigorosos que em outros setores. Aeronaves comerciais e militares estão sujeitas a uma ampla variedade de condições adversas, como carregamentos dinâmicos, variações de temperatura, umidade e pressão atmosférica, e precisam suportar descargas elétricas (raios) e interferências eletromagnéticas (Weber, 2020).

No caso de projetos espaciais (satélites, módulos, rovers, telescópios espaciais e demais artefatos de elevada complexidade) a seleção de materiais tende a ser mais criteriosa em consideração as condições do ambiente espacial ao qual será submetido. Por exemplo, durante o lançamento do satélite por um foguete, diversas forças vibracionais e gravitacionais atuam nos componentes que podem aumentar até três vezes seu próprio peso, podendo comprometer a integridade estrutura (Wassmer, 2015).

Para lidar com ambientes tão diversos e requisitos rigorosos, os materiais a serem usados para componentes espaciais ou satélites devem ser leves, ter boa tolerância dimensional, apresentar alta resistência específica e apresentar integridade estrutural excepcional (Heidt, 2013).

O avanço da aviação, impulsionado pelas guerras mundiais, e o desenvolvimento de tecnologias espaciais, aumentaram a demanda por materiais que atendessem a requisitos estruturais, aerodinâmicos, térmicos e de propulsão. Esses materiais precisam ter características físicas específicas para garantir a integridade dos componentes em missões espa-

ciais e aeronáuticas. (Couto, 2012; Toor, 2017).

Em geral, os metais são elementos químicos sólidos que possuem brilho, opacidade, dureza, ductilidade, maleabilidade, elevada densidade, boa fusibilidade, altos coeficientes de condutibilidade térmica e elétrica. Quando combinados com outros materiais, alteram suas características iniciais podendo ser aplicados nas mais variadas atividades (Silva, 2013).

O alumínio e suas ligas são amplamente utilizados na indústria aeroespacial, em foguetes, satélites, estações espaciais e outros componentes no setor espacial. Essa aplicabilidade pode ser creditada às características intrínsecas das ligas de alumínio, como a ótima relação resistência/massa específica, facilidade de manuseio, resistência à corrosão, custo e disponibilidade. Por serem até $\frac{1}{3}$ mais leves que o aço, as ligas de alumínio podem reduzir consideravelmente o peso de uma aeronave (Rodrigues, 2013).

Quando combinado com zinco, o alumínio apresenta alta resistência mecânica, alta rigidez específica, boa resistência à corrosão e alta resistência à fratura. A liga 7075 (Al-Zn-Mg) é empregada na produção de componentes que requerem leveza e elevada resistência ao desgaste, como a parte superior da asa de um avião (Hangar MMA, 2022).

O foguete Saturn V, responsável por levar ao espaço a missão Apollo 11 em 1967, empregou liga de alumínio 7075 T6 em estruturas do tipo honeycomb, carenagens e aletas. Já a liga 2014 T6 foi usada em placas fresadas com defletores integrados, e a liga Titânio-6Al-4V em suas tubulações. Atualmente, o lançador Falcon 9 da SpaceX apresenta liga de alumínio-lítio, com excelentes propriedades termo-mecânicas, utilizados na fabricação dos seus tanques de armazenamento de oxigênio líquido (propelente) (Striegel, 2015).

O Nióbio (Nb) é um elemento químico usado como liga na produção de metais especiais e é considerado um dos mais resistentes à corrosão e a temperaturas extremas. Como Nióbio puro apresenta temperatura de fusão em 2.470°C , ocorre oxidação a temperaturas acima de 500°C , perdendo sua resistência mecânica acima de 900°C . Entretanto, combinado a outras ligas, tornou-se um concorrente direto das superligas de níquel, empregado em componentes na indústria aeroespacial (ASM Handbook, 1990; Nieh, 1994).

Cerca de 90% do nióbio, háfnio e titânio compõem a liga C103. A C103 é vista como um dos metais refratários mais eficientes para turbinas de aviões, já que consegue suportar temperaturas superiores a 1.300°C e aceita revestimento contra a oxidação. Provavelmente, a C103 é uma das únicas ligas disponíveis no mercado que consegue suportar as elevadas temperaturas associadas a uma missão espacial. Ela se faz presente em motores de propulsão e na ponta de foguetes, como é o caso do Falcon 9 (Neofeed, 2021).

O espelho primário é crucial em telescópios espaciais, pois sua sensibilidade depende do tamanho. No entanto, o tamanho e o material são limitados pela massa da carga útil e pelas condições adversas do lançamento e do espaço. Materiais como vidros metálicos ou metais amorfos são destacados por suas propriedades, incluindo alta relação resistência-peso, dureza superior, resistência à corrosão e resistência a baixas temperaturas, superando as ligas metálicas tradicionais (Stefanov, 2020).

O Berílio foi escolhido para fabricação dos espelhos do telescópio espacial James Webb pois oferece excelente estabilidade óptica sob temperaturas criogênicas do espaço, além de ser leve, com boa rigidez, baixo coeficiente de expansão térmica e não magnético (Clampin, 2008; Barber, 2007).

Os materiais compósitos são criados pela combinação de diferentes componentes, resultando em um material com propriedades superiores às dos componentes individuais. Na aviação, fibras leves e resistentes são usadas para produzir compósitos de alta performance, que oferecem benefícios como resistência à fadiga, corrosão e rigidez, além de

flexibilidade em layouts variados (Nogueira, 2004; Leite, 2014).

Compósitos feitos com fibras de alto módulo elástico, particularmente a fibra de carbono, apresentam maior resistência mecânica em comparação com outras ligas metálicas, quando comparados aos materiais empregados na indústria aeroespacial (Leite, 2014).

Os compósitos para aviação, como a fibra de carbono, oferecem várias vantagens: menor propensão à corrosão, maior resistência à fadiga, baixa condutividade térmica e excelente isolamento térmico e acústico. Além disso, são leves e duráveis, reduzindo o peso dos aviões em até 30%, o que diminui o consumo de combustível. A fibra de carbono também resiste a temperaturas extremas, sendo usada em aplicações como o revestimento dos cones dianteiros de aviões, suportando até 1093°C durante a reentrada atmosférica (Leite, 2014).

O F-22 demonstra a excepcional resistência dos compostos de fibra de carbono. Este avião supersônico alcança uma velocidade de 1,5 Mach e é construído com 40% de fibras compostas, incluindo as de carbono. Devido às suas características térmicas superiores, não é necessário um tratamento antichamas para a composição da fuselagem do avião (Batista, 2018)

E, nos satélites, o compósito de fibra de carbono unidirecional de alto módulo é aplicado em componentes como cinta, lança, estrutura e painéis solares do satélite. Essas utilizações são creditadas às características anisotrópicas ajustáveis dos compósitos. Nos satélites, os compósitos de fibra de vidro e Kevlar (nome comercial do polímero de aramida) são utilizados na produção de antenas de satélite, graças à sua reduzida perda de transmissão e alta condutividade elétrica (Toor, 2017)

A fibra de vidro é usada para proteger motores de foguetes devido à sua resistência à corrosão e custo reduzido. Compósitos de fibras de vidro e kevlar são empregados em radomes de aeronaves, pois são transparentes à radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas, permitindo que o radar funcione sem interferências enquanto protege o equipamento (Rezende, 2000).

Os compósitos de matriz de alumínio são preferidos para usos espaciais devido à sua densidade reduzida, alta resistência específica, alta condutividade térmica e elevada resistência ao desgaste, o que os torna um candidato perfeito para uma variedade de aplicações de engenharia robustas. Essas características notáveis são obtidas através do reforço da matriz de alumínio através de reforços em fibras ou partículas (Toor, 2017).

O composto de carbono/epóxi T300/914 é amplamente utilizado em estruturas de aeronaves. A porção T300 do nome refere-se a uma fibra de carbono enquanto 914 é uma referência a uma resina epóxi. O T300/914 é um composto de carbono/epóxi de primeira geração que é 50% (em volume) de fibra de carbono e 50% de resina epóxi (Bouvet, 2017).

A resina epóxi é uma resina termofixa com elevada resistência mecânica e rigidez, estável térmica e quimicamente e resistente ao desgaste. Possui elevada temperatura de transição vítrea (em geral varia de 80° C a 190° C), uma característica que garante a sua utilização na grande maioria das aplicações estruturais. A fibra de carbono utilizada como reforço além de conferir ao material compósito elevada resistência mecânica associada à baixa massa específica faz com que o material seja mais resistente à fadiga e a corrosão (Mazumdar, 2001; Bathias, 2006).

A resina epóxi também confere melhores propriedades em fadiga aos materiais com ela manufaturados, devido principalmente à sua maior tenacidade à fratura, ou seja, resistência à propagação de microtrincas. Na indústria aeronáutica é comumente usada na estrutura de aeronaves; já na aeroespacial, é usada para a proteção térmica de foguetes,

mísseis e veículos de reentrada (Salkind, 1972).

Foi observado em alguns trabalhos, a otimização de treliças da estrutura de satélites usando os Compósitos de Matriz Metálica. Substituindo a estrutura inicial de Alumínio (Al-2024) por um compósito de alumínio 6061-T6 reforçado com 10% de germânio observou-se a redução de peso de 42%, enquanto, o compósito de 6061-T6 com 30% de particulado de carboneto de silício, atingiu redução de peso de até 70% para a mesma estrutura. Ainda, o compósito de matriz de alumínio reforçado com germânio apresentou-se um eficiente dissipador de calor para a estrutura do satélite (Rawal, 2001; Hocine, 2013; Muley, 2015).

Materiais compósitos podem ser usados para blindagem contra radiações espaciais. Um exemplo é o polietileno reforçado com regolith lunar, que protege contra nêutrons espaciais. Outra opção é reforçar o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE) com fibra de vidro utilizando o método de layup manual, que proporciona excelente blindagem e proteção contra radiações de cloro, além de ter propriedades mecânicas aprimoradas para uso em blindagem estrutural (Toor, 2017).

Como novos e promissores materiais que estão sendo desenvolvidos para a indústria aeroespacial, os Metamateriais, que são materiais artificialmente projetados cujas propriedades dependem de sua estrutura tridimensional, não da composição química. Formados por arranjos de elementos simples, permitem manipular ondas eletromagnéticas de forma precisa: cada componente interage distintamente com a luz incidente, alterando amplitude e fase da onda de maneira independente em diferentes regiões, possibilitando aplicações inovadoras em óptica e engenharia de ondas (Alves, 2018).

Os refletores solares ópticos de metamateriais (meta-OSRs) são os revestimentos de primeira superfície na parte externa de uma espaçonave, projetados para efetivamente irradiar o calor infravermelho, refletindo a maior parte do espectro solar óptico, controlado termicamente o sistema. O revestimento de meta-OSR é ativado pelo uso de óxido de metal, um material comumente usado para contatos elétricos transparentes, que, neste caso, é modelado em um metamaterial com emissividade infravermelha muito forte, mantendo uma baixa absorção de o espectro solar (Sciences, 2022).

A NASA e o MIT desenvolveram uma asa de avião inovadora feita de metamaterial mecânico, composta por milhares de minúsculos triângulos com suportes semelhantes a palitos de fósforo. Essa estrutura combina a rigidez de um polímero com a leveza de um aerogel, resultando em uma densidade de apenas $5,6 \text{ kg/m}^3$, muito menor que a borracha convencional (1.500 kg/m^3). A asa pode se reconfigurar automaticamente para otimizar o desempenho em diferentes condições de voo, prometendo aumentar a eficiência energética, reduzir a manutenção e melhorar a produção de aeronaves (Valduga, 2019).

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de materiais avançados representa um dos pilares da engenharia aeroespacial contemporânea. A presente pesquisa demonstrou, por meio de revisão bibliográfica criteriosa, a relevância dos metais e compósitos na concepção de estruturas leves, resistentes e eficientes, atendendo às exigências de desempenho, segurança e sustentabilidade que caracterizam este setor. As ligas metálicas de alumínio, titânio e nióbio, bem como os compósitos reforçados com fibras de carbono, vidro e aramida, mostraram-se fundamentais para aplicações que envolvem condições extremas de temperatura, pressão e vibração.

Verificou-se que, ao reduzir o peso estrutural de aeronaves e veículos espaciais, esses

materiais colaboram diretamente para o aumento da eficiência energética e a diminuição das emissões de gases poluentes, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade. Além disso, o surgimento de novos processos, como a fabricação aditiva, e de materiais inovadores, como os metamateriais, aponta para uma transformação gradual das soluções aeroespaciais, possibilitando estruturas multifuncionais e de desempenho otimizado.

Entretanto, ainda existem desafios significativos a serem enfrentados. O alto custo de produção, a complexidade na fabricação, os requisitos rigorosos de qualificação e os métodos específicos de manutenção impõem limitações à ampla adoção desses materiais. Tais obstáculos reforçam a importância de se investir em pesquisa científica, capacitação técnica e parcerias entre universidades, centros de pesquisa e a indústria.

Conclui-se, portanto, que os materiais avançados continuarão a desempenhar papel estratégico no avanço da engenharia aeroespacial. Sua utilização criteriosa e inovadora permitirá a construção de veículos mais seguros, leves e sustentáveis, promovendo o progresso tecnológico necessário para enfrentar os desafios futuros da mobilidade aérea e da exploração espacial.

Referências

- ALVES, Paulo Abreu. **Metamateriais**: uma breve introdução. PET Química, 2018. Disponível em: <<http://www.petquimica.ufc.br/metamateriais-uma-breve-introducao/>>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ASM HANDBOOK. **Properties and selection**: nonferrous alloys and special-purpose materials. Ohio: ASM International, 1990. v. 2, p. 559–565.
- BARBER, G. J. et al. Glass-coated beryllium mirrors for the LHCb RICH1 detector. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, v. 570, p. 565–567, 2007.
- BATHIAS, Claude. Piezoelectric fatigue testing machines and devices. **International Journal of Fatigue**, v. 28, n. 11, p. 1438–1445, 2006.
- BATISTA, G. et al. Materiais compósitos na aeronáutica. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, p. 240–246, 2018.
- BOUVET, Christophe. **Mechanics of aeronautical composite materials**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.
- CLAMPIN, M. The James Webb Space Telescope (JWST). **Advances in Space Research**, v. 41, p. 1983–1991, 2008.
- COUTO, ANTONIO A. et al. Estudo das propriedades mecânicas em fadiga da liga de alumínio 2024 envelhecida artificialmente para aplicações aeronáuticas. **V Congresso Internacional do Alumínio**; 24 a 26 de abril de 2012; São Paulo – Brasil.
- HANGAR MMA. **Qual a liga mais usada na construção de aeronaves e por quê?** Grupo de Estudo ANAC MMA, 2022. Disponível em: <<https://hangarmma.com.br/blog/liga-mais-usada-na-construcao-de-aeronaves/>>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- HEIDT, M. H. et al. CubeSat: A new generation of picosatellite for education and industry low-cost space experimentation. In: **14th Annual/USU Conference on Small Satellites**, Utah, 2013.
- HOCINE, R. et al. 3D TLM formulation for thermal modelling of metal matrix composite materials for space electronics systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES IN SPACE TECHNOLOGIES – RAST**, 6., 2013. Anais [...]. p. 47–52.
- LEITE, Vinícius Reis. Estado da arte dos materiais compósitos na indústria aeronáutica. **Revista Ciências Exatas**, v. 20, n. 2, 2014.
- MAZUMDAR, Sanjay. **Composites manufacturing**: materials, product, and process engineering. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- MULEY, A. V.; ARAVINDAN, S.; SINGH, P. Nano and hybrid aluminum based metal matrix composites: an overview. **Manufacturing Review**, v. 2, p. 1–13, 12 jul. 2015.
- NEOFEED. **A corrida espacial da CBMM**. 23 abr. 2021. Disponível em: <<https://neofeed.com.br/blog/home/a->

-corrida-espacial-da-cbmm/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

NIEH, T. G.; WADSWORTH, J. Recent advances and developments in refractory alloys. In: **High Temperature Silicides and Refractory Alloys**. Pittsburgh: MRS, 1994. (Materials Research Society Symposium Proceedings, 322), p. 316.

NOGUEIRA, C. L. **Obtenção e caracterização de compósitos termoplásticos avançados à base de matrizes de polipropileno reforçados com fibra de carbono**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2004.

RAWAL, S. P. Metal-matrix composites for space applications. **JOM**, v. 53, p. 14–17, 2001.

REZENDE, Mirabel C.; BOTELHO, Edson C. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. **Polímeros**, v. 10, p. e4–e10, 2000.

RODRIGUES, Mônica Costa. **Estudo de casos de seleção dos materiais e processos para a fabricação de fuselagens**. 2013.

SALKIND, Michael J. **Fatigue of composites**. West Conshohocken: ASTM International, 1972.

SANTOS, Bernardino José Garcia dos. **Indústria aeroespacial em Portugal: que futuro?** 1997. Tese (Doutorado) – Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, 1997.

SCIENCES. **Novos revestimentos térmicos para espaçonaves e satélites desenvolvidos usando metamateriais**. 2022. Disponível em: <<https://por.sciences-world.com/new-thermal-coatings-28733>>. Acesso em: 12 fev. 2025.

SILVA, Augusto S. da et al. **Metais pesados: danos à saúde humana, formas de contaminação e o descarte impróprio no meio ambiente**. Faculdade Integrada de Carajás, Redenção, 30 mar. 2013.

STEFANOV, Tatiana et al. Thin film metallic glass broad-spectrum mirror coatings for space telescope applications. **Journal of Non-Crystalline Solids**: X, v. 7, p. 100050, 2020.

STRIEGEL, M. **The space age in construction**. In: **Mid-Century Modern Structures: Materials and Preservation Symposium**, 2015, St. Louis, Missouri. Disponível em: <<https://ncptt.nps.gov/blog/the-space-age-in-construction/>>. Acesso em: 11 fev. 2025.

TOOR, Zaigham Saeed. Applications of aluminum-matrix composites in satellites: a review. **Journal of Space Technology**, v. 7, n. 1, 2017.

VALDUGA, Fernando. **MIT e NASA desenvolvem asa de “metamaterial” capaz de se modificar automaticamente**. CAVOK, 2019. Disponível em: <<https://www.cavok.com.br/mit-e-nasa-desenvolvem-asa-de-metamaterial-capaz-de-se-modificar-automaticamente>>. Acesso em: 12 fev. 2025.

WASSMER, Willian. **The materials used in artificial satellites and space structures**. 2015. Disponível em: <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12034>>. Acesso em: 12 fev. 2025.

WEBER, Austin. Advanced materials push the envelope in aerospace assembly. **Aerospace Assembly**, 3 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.assemblymag.com/articles/95429-advanced-materials-push-the-envelope-in-aerospace-assembly>>. Acesso em: 25 fev. 2025.



MODERNIZAÇÃO DA SOLDAGEM MIG/MAG POR APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS ROBÓTICAS

MODERNIZATION OF MIG/MAG WELDING BY APPLYING ROBOTIC
TECHNOLOGIES

Rosiel Gomes Nascimento
Ronaldo de Jesus Barros

9

Resumo

Este trabalho aborda a modernização do processo de soldagem MIG/MAG com a aplicação de tecnologias robóticas no contexto da Indústria 4.0. A pesquisa teve como objetivo geral compreender como a automação tem transformado esse processo, especialmente quanto à otimização e ao controle preciso dos parâmetros técnicos envolvidos. Por meio de uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, foram analisados estudos publicados entre 2015 e 2025 que discutem o uso de sistemas robóticos na soldagem. Os resultados evidenciam que a automação proporciona ganhos significativos, como maior precisão, padronização, redução de falhas e aumento da produtividade, além de contribuir para a segurança operacional. A integração de sensores e sistemas de monitoramento em tempo real permite a adaptação dinâmica aos diferentes tipos de juntas e materiais, assegurando consistência e qualidade no cordão de solda. Contudo, foram identificados desafios, como o alto custo de implementação, a complexidade da parametrização e a necessidade de mão de obra especializada. Conclui-se que a automação na soldagem MIG/MAG é uma tendência irreversível, sendo essencial para atender às exigências de qualidade e eficiência da indústria moderna, além de promover uma reconfiguração do papel do operador, que passa a atuar como supervisor técnico dos sistemas automatizados.

Palavras-chave: Parâmetros de Soldagem MIG/MAG. Robótica. Indústria 4.0.

Abstract

This paper addresses the modernization of the MIG/MAG welding process with the application of robotic technologies within the context of Industry 4.0. The research's overall objective was to understand how automation has transformed this process, particularly with regard to the optimization and precise control of the technical parameters involved. Through a qualitative and descriptive literature review, studies published between 2015 and 2025 discussing the use of robotic systems in welding were analyzed. The results demonstrate that automation provides significant benefits, such as greater precision, standardization, reduced failures, and increased productivity, in addition to contributing to operational safety. The integration of sensors and real-time monitoring systems allows for dynamic adaptation to different types of joints and materials, ensuring consistency and quality in the weld bead. However, challenges were identified, such as high implementation costs, complex parameterization, and the need for specialized labor. It can be concluded that automation in MIG/MAG welding is an irreversible trend, essential to meeting the quality and efficiency demands of modern industry, and promoting a reconfiguration of the operator's role, who now acts as a technical supervisor of automated systems.

Keywords: MIG/MAG Welding Parameters. Robotics. Industry 4.0.



1. INTRODUÇÃO

Com a Indústria 4.0, a busca por eficiência e qualidade impulsionou a automação nos processos industriais, destacando-se a soldagem MIG/MAG como ferramenta estratégica em setores como o automotivo e o petrolífero. A modernização desses processos tornou-se essencial para garantir competitividade, exigindo maior controle das variáveis técnicas para minimizar falhas e garantir a qualidade dos produtos. A introdução de robôs e sistemas inteligentes transformou a soldagem MIG/MAG, reduzindo erros humanos e aumentando a confiabilidade. Essas tecnologias passaram a prever falhas, registrar dados e programar manutenções, promovendo uma produção mais segura. No entanto, a automação ainda enfrenta desafios, como alto custo inicial, complexidade de ajustes e falta de mão de obra especializada.

Diante da crescente exigência por qualidade, redução de custos e segurança nas operações, justificou-se a importância de analisar os impactos da automação na soldagem MIG/MAG. A pesquisa concentrou-se no potencial do controle robótico de parâmetros para padronizar processos e minimizar falhas, destacando a relevância do domínio técnico sobre as variáveis envolvidas.

Com base nisso, buscou-se responder quais foram os principais obstáculos e oportunidades na aplicação de sistemas robóticos nesse tipo de soldagem. A investigação teve como objetivo identificar limites e possibilidades da automação, propondo caminhos viáveis para sua implementação em ambientes industriais que exigem alta precisão e confiabilidade.

O objetivo geral consistiu em compreender como a automação transformou o processo de soldagem MIG/MAG, com ênfase na otimização e no controle preciso dos parâmetros por meio de sistemas robóticos. Para alcançar essa finalidade, foram definidos três objetivos específicos: estudar os principais fatores que influenciaram a qualidade da soldagem MIG/MAG convencional; descrever as tecnologias e soluções robóticas adotadas para automação do processo, destacando sua eficácia no controle de parâmetros; e, por fim, examinar os impactos da automação na segurança dos operadores, na produtividade e na gestão dos recursos utilizados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A presente pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, caracterizada como qualitativa e descritiva, com o objetivo de reunir e analisar publicações relevantes que abordam a automação da soldagem MIG/MAG, com ênfase no controle e otimização de parâmetros por meio de sistemas robóticos. A investigação foi realizada a partir da consulta a diferentes bases de dados e repositórios acadêmicos confiáveis, como Google Acadêmico, Scopus, IEEE Xplore, *Web of Science*, SciELO, Periódicos CAPES e bancos de teses e dissertações.

O recorte temporal utilizado restringiu-se aos trabalhos publicados entre os anos de 2015 e 2025, a fim de garantir a inclusão de estudos recentes e alinhados aos avanços tecnológicos mais atuais. Foram considerados, como critério de inclusão, os materiais publicados nos idiomas português e inglês, que abordassem diretamente temas relacionados à soldagem MIG/MAG, seus parâmetros técnicos e a aplicação de soluções robóticas nos processos industriais.

A seleção dos estudos foi orientada por descritores cuidadosamente definidos, de modo a refletir os principais elementos do tema investigado. Entre as palavras-chave empregadas nas buscas, destacaram-se: “Parâmetros de Soldagem”, “Soldagem MIG/MAG”, “Automação na Soldagem”, “Soldagem Robótica” e “Indústria 4.0”. Esses termos foram combinados e ajustados conforme a base de dados utilizada, respeitando a lógica booleana apropriada para refinar os resultados e assegurar a pertinência dos documentos selecionados.

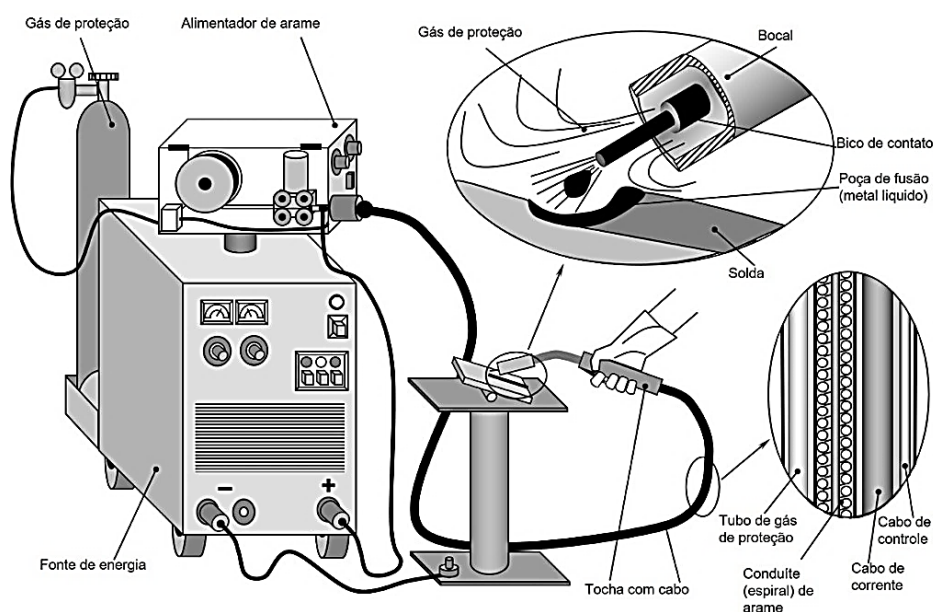
2.2 Resultados e Discussão

A soldagem MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*) é um dos processos de união mais utilizados na indústria metalúrgica, caracterizando-se por sua alta taxa de deposição, versatilidade e aplicabilidade em diferentes tipos de metais e posições de soldagem. Sua eficiência operacional, no entanto, está diretamente associada ao controle preciso dos parâmetros de soldagem, como velocidade de alimentação do arame, voltagem, corrente e fluxo de gás. Alterações mínimas nesses fatores podem comprometer a qualidade da solda, gerando defeitos como porosidade, respingos excessivos, falta de fusão e penetração inadequada (Sartori *et al.*, 2017).

Uma estação de trabalho dedicada ao processo de soldagem MIG/MAG é composta por um conjunto de equipamentos que atuam em conjunto para viabilizar a operação. Entre os principais componentes, destacam-se: a fonte de energia, a tocha ou pistola, de soldagem, o alimentador de arame (que inclui o motor e o carretel), além do cilindro de gás de proteção com suas respectivas mangueiras e os cabos de alimentação elétrica (Lacerda, 2021). A Figura 1 apresenta como esses elementos se integram em uma bancada típica de soldagem MIG/MAG.

A adoção de tecnologias automatizadas e sistemas robotizados na soldagem MIG/MAG tem demonstrado eficácia na redução de falhas operacionais, diminuição de custos produtivos e aceleração dos ciclos de fabricação. Esses benefícios evidenciam a viabilidade da automação nesse tipo de soldagem. Biber, Sharma e Reisgen (2024) desenvolveram um sistema robótico com controle adaptativo para o processo de soldagem a arco com gás, resultando em melhorias significativas na eficiência e qualidade das soldas.

Figura 1. Elementos essenciais da bancada convencional de soldagem MIG/MAG



Fonte: Oliveira (2022)

Além disso, um estudo de Restecka e Wolniak (2018) comparou os custos e a eficiência da soldagem MAG manual e robótica, concluindo que a automação proporciona vantagens notáveis em termos de qualidade e fatores econômicos. Esses estudos reforçam a importância da automação na otimização dos processos de soldagem MIG/MAG. Para contextualizar esse avanço, o Quadro 1 resume as categorias de operações em soldagem, evidenciando que quanto maior a autonomia dos sistemas, mais elevado é o nível de automação do processo.

Quadro 1. Níveis de automação nas etapas do processo de soldagem segundo diretrizes da *American Welding Society (AWS)*

Etapas da Soldagem	Níveis de Automação			
	Operação Manual	Semimecanizada	Mecanizada	Totalmente Automática
Início e manutenção do arco elétrico	Realizado pelo soldador	Sistema inicia, soldador supervisiona	Controlado por máquina	Controlado por máquina
Alimentação do arame ou eletrodo	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Controlada por máquina	Controlada por máquina
Controle térmico e penetração da solda	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Controlado por máquina	Controlado por máquina
Movimentação da tocha	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Controlada por máquina	Controlada por máquina
Alinhamento e seguimento da junta	Realizado pelo soldador	Visual/manual	Realizado pelo soldador	Sensorial/automático
Direcionamento do arco de solda	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Realizado por sensores
Ajustes e correções durante a soldagem	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Realizado pelo soldador	Automático (conforme a configuração adotada)

Fonte: Adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

No processo de soldagem MIG/MAG, é comum que a operação ocorra de forma semimecanizada, especialmente quando o soldador realiza manualmente o deslocamento da tocha. Contudo, quando esse movimento é executado por meio de sistemas mecânicos ou robôs industriais, o processo passa a ser classificado como automático, ampliando o controle e a eficiência da soldagem (Gasparini, 2022).

Cai *et al.* (2020) observam que a diversidade de tipos e posições de solda surgiu como uma necessidade da indústria, mas a qualidade do processo pode ser afetada por diversos fatores durante a soldagem. Um dos principais é a variável de entrada, que abrange aspectos como corrente de soldagem, tensão, velocidade e taxa de calor. Esses elementos são cruciais para determinar o resultado final da solda, influenciando diretamente tanto a qualidade quanto a eficiência do processo.

O processo de soldagem MIG apresenta certos desafios, sendo a sensibilidade do arco elétrico aos parâmetros operacionais um dos principais. Pequenas variações nesses parâmetros podem impactar diretamente a qualidade do cordão de solda. Por isso, é essencial um ajuste preciso das variáveis, elas estão interligadas e modificar uma delas afeta, inevitavelmente, as outras (Silva, 2019).

Esse controle exige não só domínio técnico, mas também uma percepção clara de como essas variáveis se conectam com a estabilidade do arco elétrico e com o modo como o metal é transferido durante a soldagem. Cada parâmetro – como corrente, tensão, vazão do gás de proteção, velocidade de soldagem, comprimento energizado do eletrodo e ângulo de trabalho – influenciam diretamente o formato, a penetração e a qualidade do cordão de solda, além de afetar outras variáveis simultâneas (Silva, 2019).

Além disso, Ali, El-Betar e Magdy (2024) são contundentes quando enfatizam a correta configuração desses parâmetros, isto é, quando os ajustes de parâmetros de entrada fazem com que essas variáveis se interrelacionem sensivelmente de forma positiva para o alcance de uma solda com qualidade geométrica, estrutural e estética. Esses autores associam esse impacto significativo ao fato de que tais parâmetros (variáveis de entrada) possuem uma faixa de valores ajustáveis, sendo a base de todos os processos de soldagem. Para garantir reprodutibilidade e consistência, é fundamental que esses valores sejam documentados para cada tipo de solda.

Parâmetros inadequados na soldagem ocasionam problemas como respingos indesejados esteticamente e estruturalmente, o que acaba exigindo retrabalho, como limpeza extra. Isso torna o processo mais demorado e menos eficiente. É por isso que o controle da qualidade na soldagem é uma preocupação constante entre os pesquisadores. Eles se dedicam a encontrar maneiras de garantir que a solda seja feita de forma precisa e confiável, minimizando erros e otimizando a produção. Essa busca por qualidade é fundamental para melhorar a eficiência e reduzir custos nas operações industriais (Nguyen *et al.*, 2020; Ali; El-Betar; Magdy, 2024).

Para garantir um diagnóstico de qualidade eficiente, é fundamental implementar um sistema de monitoramento na soldagem que controle continuamente variáveis como corrente elétrica, tensão, fluxo de gás e velocidade de alimentação do arame. Com o auxílio de algoritmos sofisticados, esse sistema é capaz de analisar dados em tempo real, possibilitando a rápida identificação de problemas. Quando a preocupação central é a porosidade, o sistema pode ser configurado para focar nos parâmetros mais críticos, gerando alertas quando uma solda não satisfaz os critérios de qualidade estabelecidos. Essa abordagem não apenas melhora a precisão do processo, mas também contribui para a eficiência geral, reduzindo a necessidade de retrabalho e os custos associados (Tedesco, 2022).

Para manter a competitividade industrial e aumentar a durabilidade dos produtos, pesquisadores buscam aprimorar tecnologias e desenvolver soluções economicamente viáveis. Esse avanço requer não só novos equipamentos, mas também um controle rigoroso das variáveis do processo. Na soldagem, medir, controlar e otimizar essas variáveis é essencial para alcançar resultados de qualidade e eficiência, reduzindo o tempo de execução e minimizando defeitos (Ali; El-Betar; Magdy, 2024).

Penttilä *et al.* (2019) e Couto *et al.* (2021) destacam a crescente importância da produtividade e eficiência na indústria de soldagem, impulsionadas pela competição global. Esses autores ressaltam que essa pressão levou à adoção de processos automatizados, como a soldagem robótica, que desponta como uma tendência promissora para melhorar a qualidade e eficácia na fabricação.

Por outro lado, Couto *et al.* (2021) enfatizam que a soldagem robótica, apesar de suas vantagens, apresenta desafios únicos devido à complexidade da física envolvida. Com base nesses autores, entende-se que a necessidade de uma parametrização precisa e detalhada é fundamental para garantir resultados de alta qualidade. Ao contrário da soldagem manual, onde a experiência do operador permite ajustes mais imediatos, a soldagem robótica requer configurações rígidas e o uso de sensores, o que pode prolongar o tempo

necessário para a parametrização.

A modernização dos processos de soldagem tem sido acelerada pelo avanço da Indústria 4.0, cujos pilares se baseiam na integração entre automação, robótica, inteligência artificial e análise de dados. A aplicação dessas tecnologias à soldagem MIG/MAG busca, entre outros objetivos, a padronização da qualidade, a redução do retrabalho, o aumento da produtividade e a minimização dos riscos operacionais. Nesse sentido, o uso de robôs industriais para a realização de soldas automatizadas permite não apenas a repetibilidade das operações, mas também o monitoramento em tempo real dos parâmetros de processo (Tedesco, 2022).

A robótica na soldagem MIG/MAG está em constante evolução. Através de sistemas automatizados, há o emprego de sensores inteligentes, atuadores precisos e algoritmos de correção adaptativa, que atuam dinamicamente para ajustar os parâmetros de soldagem conforme a variação do material ou geometria da junta. A integração tecnológica representa um avanço significativo quando comparada à soldagem manual ou mesmo à semiautomática, que são mais suscetíveis a variações humanas e imprevistos operacionais (Lins *et al.*, 2023).

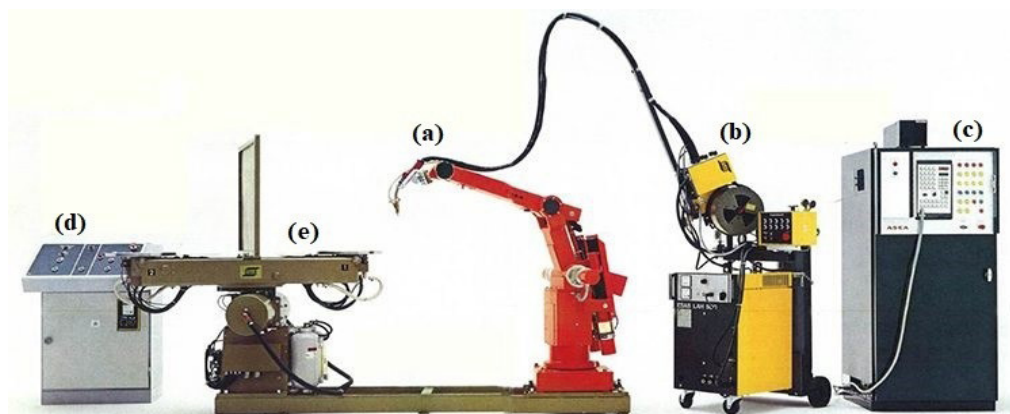
Apesar dos avanços, ainda existem desafios consideráveis para a plena adoção da robótica na soldagem MIG/MAG. A complexidade das configurações das peças, a necessidade de sistemas de visão computacional para identificação de juntas, o alto custo de implementação e a escassez de mão de obra especializada para operar e manter os sistemas automatizados são alguns dos fatores limitantes (Sales, 2020). Adicionalmente, a interface homem/máquina precisa ser desenvolvida de forma intuitiva, a fim de garantir segurança e facilidade de operação.

Rout *et al.* (2019) e Faria, Filleti e Helleno (2022) abordam a evolução e os desafios da soldagem automatizada com robôs, destacando a importância dos sensores para melhorar a precisão e a eficiência do processo. Rout *et al.* (2019) descrevem que, tradicionalmente, a movimentação da tocha de soldagem em sistemas robóticos era realizada por meio de um painel de ensino. Essa abordagem exigia a programação simultânea de vários parâmetros, o que muitas vezes resultava em erros de posicionamento da tocha e comprometia a qualidade da solda. Para contornar esses problemas, a adoção de sensores que realizam o rastreamento da costura e a inspeção da poça de fusão é sugerida como uma solução eficaz.

A soldagem robótica, apoiada por sensores, não só assegura maior precisão e velocidade de ciclo, mas também garante uma qualidade constante da solda. Essa automatização reduz a necessidade de intervenção humana, limitando-se a funções como posicionar ou remover a peça, iniciar o programa e realizar a inspeção visual final das soldas (Faria, Filleti e Helleno, 2022).

Faria, Filleti e Helleno (2022) detalham que uma célula de soldagem robotizada é composta por diversos componentes, incluindo um braço robótico, um posicionador, uma máquina de solda, e uma caixa de controle que integra sensores e programação, assim como ilustra-se na Figura 2. Nesse tipo de bancada robotizada, o operador atua principalmente por meio de um painel e uma unidade de controle, onde dá início à programação e acompanha informações essenciais, como o tempo de execução, alertas de falha e dados relacionados à manutenção e segurança do sistema.

Figura 2. Estrutura típica de uma célula robótica de soldagem industrial: (a) robô articulado, responsável pelos movimentos da tocha; (b) equipamento de soldagem; (c) unidade de comando eletrônico; (d) painel de operação para interação do operador com o sistema; e (e) posicionador, que orienta a peça na posição ideal para o processo.



Fonte: Faria, Filleti e Helleno (2022)

Em sistemas robóticos convencionais, a trajetória da tocha de soldagem ao longo da junta era guiada por meio de um painel de ensino. Para garantir um processo eficiente, era necessário programar, de forma coordenada, os parâmetros de soldagem, acionar e interromper o arco elétrico, além de ajustar o fluxo de gás de proteção, tudo isso operando em sincronia com o controlador do robô para que a soldagem ocorresse de maneira contínua. No entanto, essa configuração manual frequentemente gerava imprecisões na posição da tocha, afetando a qualidade final da solda. A introdução de sensores capazes de rastrear a linha de soldagem e monitorar a poça de fusão tem se mostrado uma solução eficaz para superar essas limitações (Rout; Deepak; Biswal, 2019).

A complexidade física envolvida na soldagem exige um ajuste fino e consciente de parâmetros, algo que se intensifica quando o processo é automatizado. Na soldagem manual, o olhar atento e a experiência do operador ainda são fatores-chave na definição das melhores condições de operação. Já na soldagem robótica, essa sensibilidade é transferida para sensores e sistemas de controle, exigindo maior rigidez na parametrização e, por consequência, mais tempo para ajustes. Pensando nisso, Couto *et al.* (2021) desenvolveram um sistema robotizado com suporte inteligente à tomada de decisão, voltado à soldagem de aços estruturais. A proposta combina programação offline com sensores de alto desempenho, permitindo maior precisão nos ajustes e controle refinado em células de soldagem automatizadas.

A união de metais diferentes ainda representa um desafio técnico, sobretudo pelos efeitos térmicos envolvidos e pelas exigências de acabamento estético do cordão. Nesse cenário, o processo de Transferência de Metal a Frio (CMT), uma evolução da soldagem MIG, surge como uma alternativa promissora. Ele oferece elevada taxa de deposição, excelente aparência do cordão e reduzida entrada de calor, o que minimiza distorções e amplia o controle sobre as propriedades metalúrgicas da junta. Quando aplicada com robôs, essa técnica potencializa ainda mais a uniformidade microestrutural dos materiais soldados. Além disso, melhorias recentes em processos convencionais, como TIG e MIG, têm proporcionado avanços notáveis: desde maior penetração até melhor controle da zona termicamente afetada, menos defeitos e acabamentos superiores (Kavishwar *et al.*, 2024).

Nesse contexto de evolução tecnológica, o trabalho de Toai, Chu e My (2021) traz um projeto voltado à criação e aplicação de um robô soldador destinado à execução de juntas complexas em suportes montados em série. O estudo detalha desde o projeto mecânico e

eletrônico da célula até os resultados obtidos em testes experimentais. A proposta foi validada com diferentes métodos (TIG, MIG e MAG), e os resultados indicam ganhos significativos tanto na qualidade do produto quanto na redução de custos e no uso mais eficiente da mão de obra. Isso evidencia o potencial da automação como aliada no aperfeiçoamento da soldagem industrial moderna.

No contexto da indústria automotiva, por exemplo, a soldagem robotizada tem sido fundamental para manter padrões elevados de qualidade e produtividade. Empresas do setor relataram reduções significativas nos índices de retrabalho e descarte (*scrap*) a partir da adoção de células robotizadas de soldagem, além de ganhos em rastreabilidade e controle estatístico de processos (Pinto; Okada, 2022). Tais resultados evidenciam a importância de uma abordagem integrada entre tecnologia, capacitação e planejamento estratégico para viabilizar a modernização da soldagem MIG/MAG.

A soldagem robótica é amplamente utilizada na indústria automotiva, com métodos como soldagem por ponto e MIG/MAG. Pequenas empresas também estão adotando essa tecnologia para atender à demanda por soluções rápidas e de alta qualidade. Contudo, a soldagem robótica enfrenta desafios, como a complexidade do processo e a dificuldade de parametrização, principalmente nas soldas MIG/MAG, que geram altas temperaturas e podem afetar as propriedades mecânicas dos materiais (Hong; Ghobakhloo; Khaksar, 2014; Kavishwar *et al.*, 2024).

Por outro lado, a técnica de Transferência de Metal a Frio se destaca por oferecer alta taxa de deposição, excelente acabamento e menor entrada de calor, reduzindo distorções térmicas. Quando aplicada de forma robótica, essa técnica melhora as características microestruturais dos metais. Avanços em processos convencionais, como TIG e MIG, também proporcionam benefícios como melhor penetração e controle da zona afetada pelo calor, ressaltando a importância da automação e das novas técnicas para otimizar a soldagem de diferentes materiais (Hong; Ghobakhloo; Khaksar, 2014; Kavishwar *et al.*, 2024).

A robótica aplicada à soldagem melhorou a qualidade e consistência dos processos, acelerando a produção e reduzindo o tempo ocioso das máquinas, o que eleva a lucratividade. Com o avanço das tecnologias digitais, sistemas de soldagem agora são mais adaptáveis e acessíveis, permitindo que até pequenas empresas automatizem suas operações com menor custo e obtenham um retorno rápido. Isso possibilita uma produção eficiente e flexível, beneficiando empresas de todos os portes (Hong; Ghobakhloo; Khaksar, 2014).

A integração de robôs na soldagem reduz custos e melhora a qualidade, especialmente em produções de menor escala, oferecendo desempenho consistente e flexível para diferentes técnicas e variações de produção. Sensores integrados monitoram a qualidade da solda e substituem o trabalho manual em ambientes perigosos, sendo úteis para empresas menores. O rastreamento de costura orienta o robô com precisão no cordão de solda, e os sensores fornecem monitoramento em tempo real e feedback imediato para ajustes técnicos, essenciais para a automação completa da soldagem (Rout; Deepak; Biswal; 2019).

De acordo com Tedesco (2022), quando um processo de soldagem é bem conduzido, os custos envolvidos geralmente se distribuem entre o trabalho operacional, o uso de materiais consumíveis, as matérias-primas, o gás de proteção, o consumo energético, entre outros fatores. Nesse cenário, os sistemas de gestão da informação aplicados à soldagem surgem como aliados importantes, pois permitem identificar falhas ainda nas fases iniciais do processo. Essa detecção precoce evita retrabalhos e reduz os gastos com manutenção corretiva.

Defeitos ou perdas no cordão de solda podem gerar prejuízos consideráveis, inclusive com impacto direto na receita da empresa. Ao antecipar problemas, torna-se possível gerir

melhor os custos operacionais e manter o desempenho produtivo em patamares elevados. Um sistema informatizado bem estruturado contribui significativamente para evitar desperdícios e assegurar a qualidade do produto final, compensando, ao longo do tempo, o investimento inicial necessário para sua implantação (Miller, 2015).

Complementando essa perspectiva, Miller (2015) destaca que transformar os dados técnicos do processo de soldagem em informações financeiras úteis pode facilitar a gestão. Isso pode ser feito, por exemplo, analisando o tempo total de operação e convertendo-o em indicadores percentuais, como horas efetivas de soldagem, volume de arame consumido ou quantidade de gás utilizado. A partir dos dados inseridos pelo usuário, o sistema realiza os cálculos considerando tanto os insumos quanto a mão de obra envolvida. Dessa forma, a administração consegue visualizar com mais clareza os impactos produtivos e atribuir valor monetário à atividade de soldagem, contribuindo para decisões mais estratégicas.

A discussão sobre os desafios e oportunidades da aplicação de controle robótico no processo MIG/MAG é enriquecida por diferentes autores, que oferecem bases sólidas para entender essa realidade. Um dos principais ganhos apontados é o aumento da precisão e da qualidade das soldas, resultado direto do uso de sensores e controles automatizados. Chen e Lv (2014), assim como Rout, Deepak e Biswal (2019), reforçam que a automação permite o monitoramento contínuo de parâmetros críticos, reduzindo a necessidade de ajustes manuais. Isso proporciona maior estabilidade ao processo, garantindo uniformidade nas soldas e diminuindo a incidência de erros operacionais.

O investimento inicial e a complexidade para implementar soluções automatizadas ainda são considerados obstáculos importantes, principalmente para empresas de pequeno porte. No entanto, esse cenário tem evoluído. Tedesco (2022) destaca que os sistemas automatizados de soldagem estão se tornando mais acessíveis, permitindo que pequenas e médias indústrias comecem a incorporar essas tecnologias em seus processos. A flexibilidade dos sistemas atuais, que facilita a troca rápida de componentes e a adaptação a diferentes necessidades de produção, representa uma oportunidade concreta de crescimento e ganho de competitividade para essas empresas.

Os resultados analisados mostram não apenas a importância de um controle eficiente das variáveis de soldagem, mas também como os avanços tecnológicos estão em sintonia com as demandas atuais do setor industrial. A crescente pressão por maior produtividade e por altos padrões de qualidade tem estimulado as empresas a adotarem soluções automatizadas. Nesse contexto, Penttilä *et al.* (2019) reforçam que a automação representa um passo essencial para o futuro da soldagem.

Compreender a interação entre os parâmetros na soldagem MIG/MAG é crucial, pois pequenas variações afetam significativamente o resultado. Isso reforça a importância da qualificação contínua dos operadores e do uso de sistemas de monitoramento para manter a estabilidade do processo (Nguyen *et al.*, 2020). A forma de transferência do metal também influencia diretamente o cordão de solda, exigindo controle rigoroso e conhecimento técnico, dada a interdependência entre as variáveis envolvidas (Silva, 2019).

Outro ponto relevante é o impacto da automação na segurança e nos custos operacionais. De acordo com Miller (2015), a utilização de sistemas automatizados contribui para a redução de falhas e retrabalhos, melhora a qualidade das soldas e promove uma economia significativa no médio e longo prazo. Já Hong, Ghobakhloo e Khaksar (2014) observam que a complexidade na configuração dos parâmetros ainda é um desafio a ser superado para que todos os benefícios da automação possam ser plenamente aproveitados. Apesar desses desafios técnicos e operacionais, a automação robótica tem se consolidado como

uma tendência crescente, com potencial para proporcionar ganhos expressivos em produtividade, segurança e eficiência, sobretudo em processos repetitivos e de grande escala. Com base nos estudos analisados, a automação na soldagem MIG/MAG vai além da melhoria técnica, promovendo uma mudança na dinâmica do trabalho. O operador deixa de executar diretamente a solda para assumir uma função estratégica de supervisão, o que eleva sua qualificação e valoriza seu papel no processo produtivo.

3. CONCLUSÃO

Os objetivos propostos neste estudo foram plenamente alcançados, permitindo compreender de forma abrangente como a automação e a aplicação de tecnologias robóticas têm transformado o processo de soldagem MIG/MAG. A análise da literatura permitiu identificar os principais fatores que influenciam a qualidade da solda, as soluções tecnológicas empregadas para otimizar os parâmetros operacionais e os impactos gerados na produtividade, segurança e gestão dos recursos industriais.

A pesquisa revelou que a automação proporciona melhorias significativas, especialmente no controle preciso das variáveis do processo, na padronização dos resultados e na redução de retrabalho. Além disso, demonstrou-se que o uso de sensores, sistemas de monitoramento e algoritmos adaptativos contribui para a elevação da confiabilidade e da eficiência da soldagem. Por outro lado, foram reconhecidas limitações importantes, como os altos custos de implementação, a complexidade técnica dos sistemas e a carência de profissionais qualificados, especialmente em pequenas e médias empresas.

Esses desafios, no entanto, não anulam o potencial da robótica na soldagem, mas indicam a necessidade de investimentos contínuos em capacitação profissional e desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis. Recomenda-se que estudos futuros aprofundem a investigação sobre estratégias de redução de custos, interfaces homem-máquina mais intuitivas e a aplicação de inteligência artificial para facilitar a parametrização automática dos sistemas. Assim, a modernização da soldagem MIG/MAG poderá alcançar um número ainda maior de ambientes industriais, promovendo ganhos consistentes em produtividade, segurança e qualidade.

Referências

- ALI, Radwa; EL-BETAR, Ahmed; MAGDY, Mahmoud. A review on optimization of autonomous welding parameters for robotics applications. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1-22, 2024.
- BIBER, A.; SHARMA, R.; REISGEN, U. Robotic welding system for adaptive process control in gas metal arc welding. **Welding in the world**, v. 68, n. 9, p. 2311-2320, 2024.
- CAI, Wang. *et al.* Application of sensing techniques and artificial intelligence-based methods to laser welding real-time monitoring: A critical review of recent literature. **Journal of Manufacturing systems**, v. 57, p. 1-18, 2020.
- CHEN, S. B.; LV, N. Research evolution on intelligentized technologies for arc welding process. **Journal of manufacturing processes**, v. 16, n. 1, p. 109-122, 2014.
- COUTO, Tiago. *et al.* Otimização de aprendizado de máquina para parametrização de soldagem robótica. In: **Conferência Internacional IEEE 2021 sobre Sistemas e Competições de Robôs Autônomos (ICARSC)**. IEEE, 2021. pág. 137-142.
- FARIA, Isabella Cristina Souza; FILLETI, Remo Augusto Padovezi; HELLENO, André Luís. Evolução dos Processos de Automação em Células de Soldagem: Uma Revisão da Literatura. **Soldagem & Inspeção**, v. 27, p.

e2704, 2022.

GASPARINI, Odilon Mateus De Souza. **A importância do ensaio não destrutivo de ultrassom na análise e garantia da qualidade da solda**. 2022. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdades Integradas de Aracruz, Aracruz, 2022.

HONG, Tang Sai; GHOBAKHLOO, Morteza; KHAKSAR, Weria. Robotic welding technology. **Comprehensive materials processing**, v. 6, n. February, p. 77-99, 2014.

KAVISHWAR, Samrat. *et al.* Estudos abrangentes sobre técnicas convencionais e novas de revestimento de solda e suas variantes para melhorar a integridade estrutural: uma visão geral. **Soldagem Internacional**, v. 38, n. 9, p. 618-638, 2024.

LACERDA, Caio Resende de. **Otimização de parâmetros de soldadura GMAW utilizando o método Taguchi com a análise relacional de Grey**. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Portugal, Bragança, 2021.

LINS, Raphael Silva. *et al.* Automatização do processo de soldagem MIG/MAG na produção de implementos agrícolas. **Seven Editora**, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/2130>. Acesso em: 6 abr. 2025.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 363 p.

MILLER. **Understanding the True Cost of Weld Defects**. [S. l.], 17 dez. 2015. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-real-cost-of-misused-or-defective-welds>. Acesso em: 07 maio. 2024.

NGUYEN, Quyen. *et al.* Experimental investigation of temperature field and fusion zone microstructure in dissimilar pulsed laser welding of austenitic stainless steel and copper. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 56, p. 206-215, 2020.

OLIVEIRA, Luidy Martins de. **Estudo da Influência da Adição de Arame Frio ao Processo MIG/MAG aplicado à Manufatura Aditiva**. 2022. 45 f. Projeto de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil. 2022.

PENTTILÄ, Sakari. *et al.* Artificial neural network controlled GMAW system: Penetration and quality assurance in a multi-pass butt weld application. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 105, n. 7, p. 3369-3385, 2019.

PINTO, Aline Cristina Lamas; OKADA, Roberto Hirochi. A importância da automação no sistema de soldas da indústria automotiva. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 1030-1042, 2022.

RESTECKA, Monika; WOLNIAK, Radosław. Comparison of Manual and Robotic MAG Welding-Related Costs and Efficiency in Terms of Quality and Social Factors. **Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach**, v. 62, 2018.

ROUT, Amruta; DEEPAK, B. B. V. L.; BISWAL, B. B. Advances in weld seam tracking techniques for robotic welding: A review. **robotics and computer-integrated manufacturing**, v. 56, p. 12-37, 2019.

SALES, Rogério Rodrigues. **Mapeamento dos defeitos em processos de soldagem MIG/MAG robotizado com foco em propostas de melhorias na redução de scrap: estudo de caso em uma empresa do segmento automotivo**. 2020. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Guaratinguetá, 2020.

SARTORI, Francisco. *et al.* Uma análise comparativa entre diferentes versões de variantes modernas do processo MIG/MAG para o passe de raiz em soldagem orbital. **Soldagem & Inspeção**, v. 22, n. 4, p. 442-452, 2017.

SILVA, William Constantino da. **Avaliação microestrutural de Zonas Parcialmente Diluídas obtidas por soldagem dissimilar empregando os metais de adição Inox 309L e Inconel 625**. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TEDESCO, Leonardo Boldrini. **Tecnologias da indústria 4.0 aplicados à soldagem e os desafios de sua implementação**. 2022. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

TOAI, Truong Trong; CHU, Duc-Hoang; MY, Chu Anh. Development of a new 6 DOFs welding robotic system for a specialized application. **Further Advances in Internet of Things in Biomedical and Cyber Physical Systems**, p. 135-150, 2021.





SGI: SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO, UM PANORAMA GERAL

IMS: INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM, AN OVERVIEW

Elcilane Rodrigues Alves
Flavio Henrique de Jesus Campos

10

Resumo

O Sistema de Gestão Integrado (SGI) é uma abordagem estratégica adotada por organizações para unificar e otimizar diferentes sistemas de gestão, como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional. Este artigo explora a definição e a importância do SGI, destacando seus benefícios e desafios. A metodologia utilizada neste estudo é a revisão bibliográfica, que proporciona uma análise abrangente e fundamentada sobre o tema, baseada em fontes confiáveis e especializadas. O objetivo principal é fornecer uma compreensão clara do SGI, suas vantagens na melhoria de processos e na promoção da responsabilidade corporativa. Através da revisão bibliográfica, são apresentadas as formas de implementação utilizando o ciclo PDCA em conexão com o SGI, demonstrando seus impactos positivos no desempenho organizacional e na eficiência operacional. As principais conclusões destacam a importância da integração dos sistemas de gestão para uma abordagem mais eficiente e holística, além de ressaltar a necessidade de planejamento e engajamento dos colaboradores para uma implementação bem-sucedida. Em síntese, o SGI é uma ferramenta estratégica que impulsiona a excelência organizacional e contribui para a sustentabilidade e a responsabilidade social das empresas.

Palavras-chave: SGI, Sistemas e Gestão integrado, Ciclo PDCA, PDCA, Implementação de SGI, SGI e ciclo PDCA, Qual a importância do SGI, Como usar SGI.

Abstract

The Integrated Management System (SGI) is a strategic approach adopted by organizations to unify and optimize different management systems, such as quality, environment, health and occupational safety. This article explores the definition and importance of SGI, highlighting its benefits and challenges. The methodology used in this study is a bibliographic review, which provides a comprehensive and well-founded analysis of the topic, based on reliable and specialized sources. The main objective is to provide a clear understanding of the SGI, its advantages in improving processes and promoting corporate responsibility. Through the literature review, ways of implementation using the PDCA cycle in connection with the SGI are presented, demonstrating its positive impacts on organizational performance and operational efficiency. The main conclusions highlight the importance of integrating management systems for a more efficient and holistic approach, in addition to highlighting the need for planning and employee engagement for a successful implementation. In summary, the SGI is a strategic tool that drives organizational excellence and contributes to the sustainability and social responsibility of companies.

Keywords: SGI, Integrated Systems and Management, PDCA Cycle, PDCA, Implementation of SGI, SGI and PDCA cycle, What is the importance of SGI, How to use SGI.



1. INTRODUÇÃO

A crescente complexidade e competitividade do ambiente empresarial contemporâneo tem impulsionado organizações de todos os setores a buscarem estratégias eficazes para otimizar suas operações e garantir a sustentabilidade. Nesse contexto, o estudo dos Sistemas de Gestão Integrado (SGI) emerge como uma ferramenta crucial para empresas que desejam alinhar seus processos internos às melhores práticas de mercado, assegurando a conformidade com regulamentações e aumentando sua eficiência operacional. A importância de investigar e entender a implementação e os impactos dos SGI nas organizações não pode ser subestimada, pois esses sistemas possibilitam a integração de diversas áreas de gestão, como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional, promovendo uma abordagem holística e coordenada.

Os SGIs são projetados para criar sinergias entre diferentes sistemas de gestão isolados, proporcionando uma visão integrada e mais eficiente das operações empresariais. Essa integração facilita a identificação de oportunidades de melhoria contínua, reduz a redundância de esforços e recursos, e promove uma cultura organizacional focada na excelência. Além disso, um SGI bem implementado pode ajudar as organizações a responder rapidamente às mudanças do mercado e às novas exigências legais, aumentando sua resiliência e capacidade de adaptação.

Estudar os Sistemas de Gestão Integrado é fundamental não apenas para a melhoria contínua dos processos internos, mas também para a obtenção de vantagens competitivas sustentáveis. A integração dos sistemas de gestão proporciona uma visão unificada das atividades organizacionais, facilitando a tomada de decisões baseada em dados precisos e abrangentes. Além disso, a implementação de SGIs pode resultar em benefícios tangíveis, como a redução de custos operacionais, a minimização de riscos, a melhoria da imagem corporativa e o aumento da satisfação dos stakeholders.

Neste cenário, este artigo dedicado ao tema dos Sistemas de Gestão Integrado se torna de extrema relevância, pois visa contribuir para a disseminação de conhecimentos essenciais que podem guiar empresas e profissionais na implementação e otimização desses sistemas. Tal artigo pode abordar uma variedade de tópicos, desde os princípios teóricos e metodológicos até estudos de caso práticos que demonstram os desafios e sucessos na aplicação dos SGIs. Ao explorar as melhores práticas, os benefícios e as dificuldades associadas à gestão integrada, o artigo pode fornecer insights valiosos para gestores, consultores e acadêmicos interessados em promover a eficácia e a sustentabilidade nas organizações.

Além disso, este artigo sobre Sistemas de Gestão Integrado pode ajudar a preencher lacunas existentes na literatura acadêmica e prática, oferecendo uma base teórica sólida e exemplos práticos que podem servir como referência para futuras pesquisas e aplicações. Este tipo de estudo é particularmente relevante em um contexto global onde a responsabilidade corporativa e a conformidade regulatória se tornaram imperativos estratégicos. As empresas que adotam uma abordagem integrada à gestão são frequentemente mais bem-sucedidas em alcançar seus objetivos de longo prazo, demonstrando um compromisso com a melhoria contínua e a inovação.

Por fim, a importância deste artigo sobre SGIs reside em sua capacidade de fornecer uma compreensão aprofundada e abrangente sobre como esses sistemas podem transformar a maneira como as organizações operam. Ao destacar as vantagens, os desafios e as estratégias de implementação eficazes, o artigo não apenas contribui para o desen-

volvimento do conhecimento acadêmico, mas também oferece orientações práticas que podem ser diretamente aplicadas no ambiente corporativo. Desta forma, a pesquisa sobre Sistemas de Gestão Integrado se torna um alicerce essencial para o avanço da gestão organizacional contemporânea, promovendo a integração, a eficiência e a sustentabilidade em um mundo empresarial cada vez mais complexo e dinâmico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para garantir a qualidade e a relevância das informações compiladas em um artigo, é imprescindível adotar uma metodologia rigorosa de revisão bibliográfica. Esta metodologia não apenas assegura a integridade acadêmica, mas também proporciona uma base sólida para a construção de conhecimento. A primeira etapa essencial é definir claramente o tema da revisão bibliográfica, que neste caso é o Sistema de Gestão Integrada. Este passo envolve a delimitação precisa do campo de estudo e a formulação dos objetivos específicos que a revisão pretende alcançar. Além disso, é necessário identificar o problema de pesquisa central e as questões específicas que serão abordadas ao longo do trabalho. Estes elementos fornecem a direção e o foco necessários para conduzir uma revisão eficaz e estruturada.

O próximo passo crucial é a realização de um levantamento bibliográfico extenso, abrangendo o período de janeiro a junho de 2024. Este levantamento deve incluir uma ampla variedade de fontes, tais como artigos científicos, livros, notas de aulas, dissertações, teses e outras publicações relevantes. As bases de dados acadêmicas, bibliotecas virtuais e periódicos científicos são recursos fundamentais para este levantamento. A utilização de palavras-chave específicas, como 'gestão', 'SGI', 'sistema de gestão integrada', 'gestão integrada', 'PDCA', entre outras, é vital para direcionar a busca e assegurar a abrangência da revisão. Essas palavras-chave ajudam a capturar diferentes perspectivas e aspectos relacionados ao tema central do sistema de gestão integrado.

Durante a fase de coleta de dados, é importante organizar e categorizar as informações de maneira sistemática. Isso pode envolver a criação de fichas de leitura, resumos e análises críticas das fontes selecionadas. Cada fonte deve ser cuidadosamente avaliada quanto à sua relevância, credibilidade e contribuição potencial para o estudo. Esta análise crítica permite identificar lacunas na literatura existente e áreas que requerem uma investigação mais aprofundada.

A organização do material coletado deve seguir uma estrutura lógica, facilitando a identificação de temas recorrentes, teorias principais e debates atuais na área de estudo. A elaboração de um esquema ou mapa conceitual pode ser útil para visualizar as conexões entre diferentes fontes e tópicos abordados. Este planejamento estruturado contribui para a clareza e a coerência do texto final.

Ao longo do texto, todas as fontes utilizadas devem ser devidamente citadas, seguindo as normas de citação e referência da instituição de ensino. Esta prática é fundamental para garantir a integridade acadêmica, reconhecendo o trabalho dos autores originais e evitando o plágio. A precisão nas citações também permite que outros pesquisadores verifiquem as fontes e sigam as pistas de pesquisa indicadas no artigo.

Adicionalmente, a revisão bibliográfica deve incluir uma análise crítica das contribuições existentes, destacando tanto os pontos fortes quanto as limitações dos estudos revisados. Esta análise proporciona uma visão equilibrada e aprofundada do tema, permitindo identificar áreas de consenso e de controvérsia. A partir desta análise, é possível sugerir

direções para futuras pesquisas e práticas na área de sistemas de gestão integrada.

Em resumo, a metodologia de revisão bibliográfica adotada neste artigo assegura uma abordagem completa e rigorosa, que contribui de maneira significativa para o conhecimento na área de sistemas de gestão integrada. A clareza na definição do tema, a abrangência do levantamento bibliográfico, a organização sistemática das informações e a rigorosidade nas citações são elementos fundamentais para a qualidade do estudo. Este método garante que o artigo não apenas sintetize o conhecimento existente, mas também ofereça novas perspectivas e insights valiosos para pesquisadores, acadêmicos e profissionais interessados no campo dos sistemas de gestão integrada.

3. PROCEDIMENTO METODOLOGICO

Um Sistema de Gestão Integrada (SGI) é uma abordagem que visa unificar e integrar diferentes sistemas de gestão dentro de uma organização. Esses sistemas podem incluir gestão da qualidade, gestão ambiental, gestão de saúde e segurança ocupacional, gestão da segurança da informação, entre outros, dependendo das necessidades e objetivos da empresa.

Nesse sentido entende-se as principais normas pertinentes para uma implementação e desempenho de um Sistema de gestão integrada são as ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e a 45001:2018.

- ISO 9001: É uma norma internacional que define os requisitos para um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) em uma organização. Essa norma tem como objetivo principal fornecer um conjunto de diretrizes e boas práticas para garantir que uma empresa atenda consistentemente às necessidades e expectativas dos clientes, além de buscar a melhoria contínua dos processos internos.
- ISO 14001: Essa norma tem como objetivo principal ajudar as organizações a identificar, priorizar e gerenciar os impactos ambientais de suas atividades, produtos e serviços, além de promover a melhoria contínua do desempenho ambiental.
- ISO 45001: Aborda a gestão proativa dos riscos ocupacionais, a promoção de um ambiente de trabalho seguro e saudável, o envolvimento dos colaboradores e a busca pela melhoria contínua do desempenho em saúde e segurança ocupacional dentro das organizações.

Chiavenato (apud CHAIB, 2005) define o Sistema de Gestão Integrado (SGI) como um conjunto de dados interdependentes, onde o resultado da soma de todos os processos aplicados é maior do que se eles fossem executados separadamente. Por outro lado, Cicco (apud CHAIB, 2005) descreve o SGI como a combinação de processos, métodos e técnicas usados em uma empresa para implementar suas políticas de gestão, obtendo resultados mais eficazes quando aplicados em conjunto do que de forma isolada.

Segundo Boschetti (2005 apud SEPULVEDA, 2009), o Sistema de Gestão Integrado (SGI) surge da necessidade do mercado de integrar novas formas de gestão de negócios, como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança no trabalho. A implementação do SGI é um fator que aumenta significativamente a capacidade empresarial, promovendo uma produção de maior qualidade e com menores custos, além de atender às inovações tecnológicas atuais. Isso permite que todas as necessidades organizacionais sejam atendidas, evitando desperdícios de tempo e esforços (TRONCO *et al.*, 2005).

Os objetivos básicos de um sistema de gestão são aumentar continuamente o valor

percebido pelo cliente nos produtos ou serviços oferecidos, garantir o sucesso no mercado por meio da melhoria contínua dos resultados operacionais, satisfazer os funcionários da organização e a sociedade devido à contribuição social da empresa, e respeitar o meio ambiente (CHAIB, 2005). A integração dos sistemas de gestão oferece uma excelente oportunidade para reduzir custos relacionados, por exemplo, à manutenção de diferentes estruturas de controle de documentos, auditorias e registros. Isso pode abranger diversos temas, como qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional, e recursos humanos (CHAIB, 2005).

Cicco (2000) destaca como benefícios concretos da implementação de um Sistema de Gestão Integrado (SGI) a redução de custos, a simplificação da documentação (manuais, procedimentos e registros) e um atendimento estruturado e sistematizado conforme a legislação. De acordo com Soler (2002 apud CHAIB, 2005), existem diversas maneiras de implementar um SGI, dependendo das características específicas da organização que o adota. O autor também observa que atender às necessidades organizacionais não exige necessariamente um processo formal de certificação, podendo estar focado apenas na melhoria dos processos e produtos da empresa.

Ademais, de acordo com Soler (2002 apud CHAIB, 2005), o principal argumento para a integração dos processos de gestão é o impacto positivo que um Sistema de Gestão Integrado (SGI) pode ter sobre os funcionários. Ele aponta que a sinergia gerada por um SGI leva as organizações a alcançar níveis superiores de desempenho, ao mesmo tempo que reduz os custos globais. Além disso, o SGI possibilita a integração dos processos de qualidade com aqueles relacionados à saúde, segurança, gestão ambiental e responsabilidade social (NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2008).

A integração dos sistemas de gestão oferece vários benefícios, incluindo a redução de custos, a diminuição de duplicidades e de conflitos entre os sistemas, a economia de tempo na execução dos processos, o gerenciamento eficaz de riscos laborais, e a melhoria na comunicação e na organização como um todo (NETO; TAVARES; HOFFMANN, 2008). Integrar sistemas vai além de simplesmente juntar documentos de diferentes sistemas; o SGI deve ser desenvolvido para atender de maneira abrangente e eficiente às necessidades da organização.

Esse processo de integração permite uma abordagem mais holística da gestão empresarial, garantindo que os objetivos de qualidade, saúde, segurança, meio ambiente e responsabilidade social sejam alcançados de forma coordenada e harmoniosa.

O Sistema de Gestão Integrado (SGI) é uma abordagem que une diferentes sistemas de gestão de uma organização em um único framework coerente e eficiente. Normalmente, ele combina as práticas de gestão de qualidade, meio ambiente, saúde e segurança no trabalho, e responsabilidade social. O principal objetivo do SGI é otimizar os processos e recursos, reduzir custos, e melhorar a eficácia e a eficiência operacional. A implementação de um SGI traz diversos benefícios, como a redução de custos ao eliminar redundâncias e otimizar recursos operacionais e administrativos. A integração promove uma abordagem holística da gestão da qualidade, assegurando que todos os processos, desde a produção até a entrega, estejam alinhados com os objetivos de qualidade da organização.

Além disso, a integração de sistemas simplifica a documentação e os procedimentos, reduzindo o tempo necessário para gerenciar diferentes sistemas de gestão, permitindo que os funcionários se concentrem em suas atividades principais. A sinergia gerada por um SGI também pode melhorar o ambiente de trabalho, aumentando a motivação e a satisfação dos funcionários, pois proporciona um sistema mais claro e bem estruturado. O SGI ajuda as organizações a cumprirem diversas regulamentações e normas de forma



mais eficaz e eficiente, facilitando o monitoramento e a manutenção da conformidade com as leis ambientais, de saúde e segurança, e de responsabilidade social. Um SGI promove uma melhor comunicação interna, pois todos os departamentos e níveis hierárquicos trabalham com um sistema unificado e objetivos comuns.

Entretanto, a implementação de um SGI pode ser complexa e desafiadora, exigindo um planejamento cuidadoso e uma compreensão clara das interações entre diferentes sistemas de gestão. A mudança para um SGI pode encontrar resistência por parte dos funcionários, especialmente se a cultura organizacional não estiver alinhada com os princípios de integração e melhoria contínua. Além disso, a integração inicial pode demandar investimentos significativos em termos de tempo, dinheiro e recursos humanos.

A melhor forma encontrada pelas empresas para implementar o Sistema de Gestão integrada é através do Ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Deming, é uma metodologia interativa amplamente aplicada em sistemas de gestão com o objetivo de aprimorar processos, planejamento e execução estratégica nas organizações, tornando-os mais eficientes e seguros. Este método é fundamental para empresas que buscam alcançar uma melhoria contínua em relação aos objetivos estabelecidos por normas ISO, como ISO 9001 (Qualidade), ISO 45001 (Saúde e Segurança Ocupacional) e ISO 14001 (Meio Ambiente). A adoção do Ciclo PDCA é recomendada por essas normas devido à sua eficácia comprovada na promoção de uma gestão sistemática e orientada para resultados.

O Ciclo PDCA é composto por quatro fases distintas, mas interdependentes: Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act). Essas etapas são seguidas de forma contínua, formando um ciclo que permite ajustes e melhorias progressivas. Na fase de Planejar (Plan), são definidos os objetivos e metas a serem alcançados, bem como os processos necessários para atingi-los. Isso envolve a análise da situação atual, identificação de problemas, oportunidades de melhoria e desenvolvimento de um plano de ação detalhado. A fase de planejamento é crítica, pois estabelece as bases para todas as etapas subsequentes e garante que os esforços estejam alinhados com a estratégia organizacional.

Após o planejamento, a fase de Executar (Do) envolve a implementação do plano de ação. As atividades são realizadas conforme o previsto, e dados são coletados para monitorar o progresso e o desempenho. Nesta etapa, é essencial assegurar que todos os envolvidos compreendam suas responsabilidades e que os recursos necessários estejam disponíveis e adequadamente utilizados. A fase de Verificar (Check) é dedicada à análise e avaliação dos resultados obtidos na fase de execução. Comparando os resultados reais com os objetivos e metas definidos, a organização pode identificar desvios, problemas e áreas de sucesso. Ferramentas de análise de dados, como gráficos de controle e relatórios de desempenho, são frequentemente utilizadas para facilitar esta avaliação.

Com base nas informações coletadas durante a verificação, a fase de Agir (Act) envolve a implementação de medidas corretivas e ajustes necessários para corrigir desvios e melhorar continuamente os processos. Esta fase é crucial para garantir que as lições aprendidas sejam incorporadas, promovendo a evolução contínua do sistema de gestão. A natureza interativa do Ciclo PDCA significa que ele é aplicado continuamente no sistema de gestão. A cada repetição do ciclo, os processos e resultados podem variar dependendo das circunstâncias e do cenário organizacional. Além disso, cada nova aplicação do ciclo é informada pelos resultados das aplicações anteriores, criando um loop de feedback contínuo que fortalece a capacidade da organização de se adaptar e melhorar. Portanto, além de ser uma ferramenta interativa, o Ciclo PDCA é inerentemente contínuo, promovendo um ciclo de aprimoramento incessante.

Implementar o Ciclo PDCA requer que a estratégia organizacional já esteja bem de-

finida e estruturada. Somente assim o PDCA pode ser eficaz na busca e manutenção dos objetivos estabelecidos. Quando bem executado, o ciclo contribui significativamente para a otimização do desempenho da organização, ajudando a alcançar melhores resultados através de uma abordagem sistemática e orientada por dados. Em suma, o Ciclo PDCA é uma ferramenta poderosa para qualquer organização que busca excelência operacional e melhoria contínua. Sua aplicação sistemática permite uma gestão proativa e adaptativa, essencial para enfrentar os desafios dinâmicos do ambiente empresarial moderno. Com o PDCA, as empresas não apenas melhoram seus processos internos, mas também fortalecem sua capacidade de inovar, responder rapidamente às mudanças e manter-se competitivas no mercado.

O Ciclo PDCA e o Sistema de Gestão Integrada têm uma relação sinérgica que potencializa a eficiência e a eficácia das organizações. O PDCA fornece uma estrutura metodológica para a implementação e melhoria contínua dos processos dentro do SGI, abrangendo áreas como qualidade, saúde e segurança ocupacional, e meio ambiente. Ao integrar diferentes sistemas de gestão, o SGI beneficia-se da natureza cíclica e interativa do PDCA, que promove a análise e ajuste constantes das práticas organizacionais. A fase de planejar (Plan) do PDCA auxilia na definição de objetivos integrados, alinhados às diversas normas ISO, enquanto a fase de executar (Do) garante a aplicação coordenada das ações planejadas. Na fase de verificar (Check), a avaliação conjunta dos resultados permite identificar oportunidades de melhorias cruzadas entre os diferentes sistemas de gestão. Finalmente, a fase de agir (Act) assegura que as correções e aprimoramentos sejam implementados de maneira integrada, promovendo uma gestão holística. Essa combinação fortalece a capacidade da organização de atingir altos padrões de desempenho e conformidade, reduzindo riscos e melhorando a sustentabilidade operacional.

A implementação de um SGI não só promove uma cultura organizacional mais forte e unificada, mas também contribui para a sustentabilidade e a responsabilidade corporativa, alinhando a empresa às melhores práticas de mercado e às exigências regulatórias. Em resumo, o SGI é uma ferramenta estratégica que, quando bem implementada, pode transformar a maneira como as organizações operam, proporcionando uma vantagem competitiva significativa no mercado.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A utilização de um Sistema de Gestão Integrado (SGI) é de extrema importância para organizações que buscam otimizar seus processos e aumentar sua eficiência. Um SGI unifica diferentes sistemas de gestão, como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional, segurança da informação, entre outros, em um único framework. Isso permite uma abordagem mais holística e coordenada, garantindo que todos os aspectos essenciais da gestão empresarial sejam tratados de maneira integrada e harmoniosa.

As vantagens de utilizar um SGI são diversas. Primeiramente, há uma significativa redução de custos. A integração de sistemas elimina redundâncias, otimiza recursos operacionais e administrativos, e reduz a necessidade de manutenção de múltiplas estruturas de controle de documentos, auditorias e registros. Isso resulta em economia de tempo e dinheiro, permitindo que a organização concentre seus recursos em atividades essenciais e estratégicas.

Outra vantagem importante é a melhoria contínua da qualidade. Um SGI promove uma abordagem sistemática e consistente para garantir que todos os processos, desde a produção até a entrega, estejam alinhados com os objetivos de qualidade da organização.



Isso aumenta a satisfação do cliente, pois os produtos e serviços oferecidos atendem consistentemente às suas expectativas.

A integração dos sistemas de gestão também simplifica a documentação e os procedimentos. Isso facilita a conformidade com regulamentações e normas, promovendo uma melhor gestão dos riscos e assegurando que a organização esteja sempre em conformidade com as leis ambientais, de saúde e segurança, e de responsabilidade social. Além disso, a sinergia gerada por um SGI pode melhorar o ambiente de trabalho, aumentando a motivação e a satisfação dos funcionários, pois proporciona um sistema mais claro, bem estruturado e com objetivos comuns.

No entanto, a implementação de um SGI também apresenta algumas desvantagens. Um dos principais desafios é a complexidade e o tempo necessário para integrar diferentes sistemas de gestão. Esse processo exige um planejamento cuidadoso e uma compreensão clara das interações entre os diversos sistemas. Além disso, pode haver resistência por parte dos funcionários, especialmente se a cultura organizacional não estiver alinhada com os princípios de integração e melhoria contínua. Essa resistência pode dificultar a adoção do SGI e requerer um esforço adicional para promover a aceitação e o engajamento dos colaboradores.

Outro ponto a considerar é o investimento inicial necessário para a implementação do SGI. Integrar sistemas pode demandar investimentos significativos em termos de tempo, dinheiro e recursos humanos. Isso inclui a necessidade de treinamento dos funcionários, a adaptação de processos e a aquisição de tecnologias e ferramentas adequadas.

Em resumo, a utilização de um Sistema de Gestão Integrado (SGI) é fundamental para organizações que buscam melhorar sua eficiência operacional, reduzir custos e promover uma gestão mais eficaz e coordenada. As vantagens incluem a redução de custos, a melhoria contínua da qualidade, a simplificação da documentação e procedimentos, e o aumento da satisfação dos funcionários. No entanto, a implementação de um SGI pode ser complexa e desafiadora, exigindo um planejamento cuidadoso, investimento inicial significativo e esforços para superar a resistência interna. Quando bem implementado, um SGI pode transformar a maneira como as organizações operam, proporcionando uma vantagem competitiva significativa no mercado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, o Sistema de Gestão Integrado (SGI) representa uma abordagem eficiente e coordenada para unificar diversos sistemas de gestão dentro de uma organização, abordando áreas como qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional, entre outras. Este trabalho explorou a importância e as vantagens da implementação do SGI, destacando como as normas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018 fornecem uma estrutura robusta para garantir a conformidade e a melhoria contínua dos processos organizacionais.

O artigo concluiu que a integração dos sistemas de gestão traz diversos benefícios, incluindo a redução de custos, a eliminação de redundâncias, a otimização dos recursos e a melhoria da comunicação interna. Além disso, promove um ambiente de trabalho mais harmonioso e motivador para os funcionários. No entanto, a implementação do SGI também apresenta desafios, como a complexidade do processo, a resistência interna dos colaboradores e o investimento inicial necessário.

Os objetivos gerais e específicos do trabalho foram alcançados, pois a pesquisa conse-

guiu ampliar a compreensão sobre a importância e os benefícios do SGI, bem como identificar as principais dificuldades na sua implementação e como realizar a implementação utilizando o ciclo PDCA. O método utilizado de revisão bibliográfica foi suficiente para realizar os procedimentos, permitindo uma análise abrangente e detalhada dos aspectos teóricos e práticos do SGI. A bibliografia consultada atendeu às expectativas, oferecendo uma base sólida de conhecimento e informações relevantes sobre o tema.

Após uma análise aprofundada da pesquisa, comparação e síntese das informações de diversos autores, fica evidente que a implementação de um Sistema de Gestão Integrado (SGI) é uma estratégia extremamente valiosa para organizações que buscam aprimorar não apenas sua eficiência operacional, mas também sua competitividade no mercado. A sinergia resultante da integração dos sistemas de gestão não apenas impulsiona a eficiência interna, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade e a responsabilidade corporativa.

Recomenda-se, portanto, que as organizações interessadas em adotar um SGI procedam com um planejamento meticuloso, começando pela implementação do ciclo PDCA para estabelecer uma base sólida para a integração dos sistemas. Após essa etapa, é crucial promover a conscientização e o engajamento dos colaboradores, visando minimizar qualquer resistência interna que possa surgir durante o processo de implementação. Além disso, investir em treinamento e capacitação é fundamental para garantir que todos os funcionários estejam alinhados com os princípios de integração e melhoria contínua, consolidando uma cultura organizacional orientada para a excelência.

Em conclusão, o SGI não é apenas uma ferramenta estratégica poderosa, mas sim uma abordagem que, quando implementada de forma abrangente e eficaz, pode verdadeiramente transformar a maneira como as organizações operam. Ao proporcionar uma vantagem competitiva significativa, o SGI também desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade e da responsabilidade social corporativa, reforçando a posição da empresa como um agente de mudança positiva no cenário empresarial contemporâneo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001:2015 – Sistemas de gestão ambiental — Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 45001:2018 – Sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional — Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

CHAIB, E. B. D. **Proposta para implementação de Sistema de Gestão Integrada de meio ambiente, saúde e segurança do trabalho em empresas de pequeno e médio porte:** um estudo de caso da Indústria Metal-Mecânica. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FERNANDES, Jonathan; BUSANELLO, Fernando; POLACINSKI, Edio. **Etapas necessárias para a implantação de um sistema de gestão integrado.** Redalyc. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/2734/273459582008/>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

MASSUKADO, Luciana; ZANTA, Viviana. **SIMGERE:** software para a avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares. SciELO Brasil. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/raee/a/hwGSmR9KPG-M8FgZ3nT8gxVj/>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

NETO, B. M. R.; TAVARES, J. D. C. T.; HOFFMANN, S. C. **Sistemas de gestão integrados – qualidade, meio ambiente, responsabilidade social, segurança e saúde no trabalho.** São Paulo: SENAC, 2008.



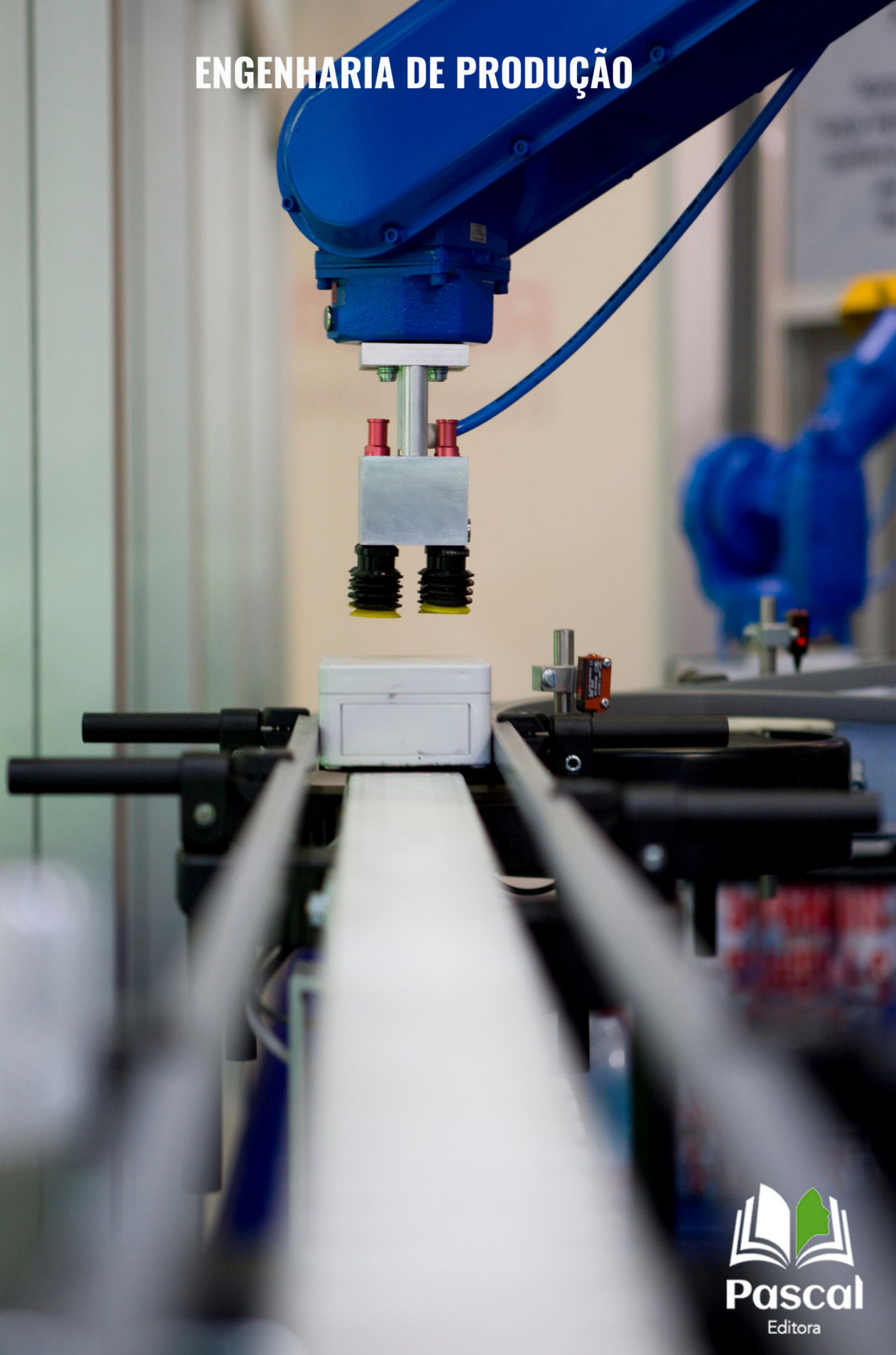
OLIVEIRA SILVA, Samiria; SOUZA FILHO, Francisco. **Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia e promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza.** SciELO Brasil. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/engenharia/a/5dDkMGa2g5N6dDzG2qq3xVh/>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

PACHECO, Ana Paula; SALLES, Bertholdo; GARCIA, Marcos. **O ciclo PDCA na gestão de conhecimento: uma abordagem sistêmica.** Disponível em: <<http://issbrazil.usp.br/artigos/ana.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

SEPULVEDA, Fernando Antônio Miranda. **Sistema de Gestão Integrado para Micros e Pequenas Empresas (MPes) no “Business to Business”.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TRONCO, C. R. et al. Sistema de gestão integrado de qualidade, meio ambiente, saúde e segurança e responsabilidade social – SGI: uma experiência de implantação. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: I SIMPEP, 2005.

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



Resumo

A gestão adequada dos resíduos industriais é um desafio crescente para as empresas, dada a necessidade de minimizar impactos ambientais e cumprir regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas. Nesse contexto, a logística reversa surge como uma estratégia fundamental para otimizar o descarte e o reaproveitamento desses resíduos, promovendo a sustentabilidade e a eficiência operacional. Indaga-se então que: Como melhorar o processo de logística de descarte de resíduos industriais? Assim, o objetivo foi descrever o processo de logística reversa adotado para descarte dos resíduos industriais, evidenciando as melhorias tanto ambientais quanto econômicas advindas da adoção do reaproveitamento de materiais durante o ciclo produtivo. A metodologia baseou-se em uma revisão bibliográfica, com abordagem qualitativa, de natureza básica, com a seleção de material publicado no lapso temporal de 2015 a 2025. Como resultado, evidenciou-se que a adoção de práticas que favoreçam a reciclagem e o reaproveitamento, contribuem para benefícios econômicos e ambientais. Concluiu-se que a logística de descarte de resíduos industriais, quando planejada e executada de forma eficiente, contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental e para a otimização dos custos operacionais das empresas. Observou-se que o processo de logística reversa aplicado ao descarte de resíduos industriais, apresenta benefícios resultantes tanto no aspecto ambiental quanto econômico.

Palavras-chave: Logística, Resíduos Industriais, Descarte, Gestão de Resíduos, Economia Circular.

Abstract

Proper management of industrial waste is a growing challenge for companies, given the need to minimize environmental impacts and comply with increasingly stringent environmental regulations. In this context, reverse logistics emerges as a fundamental strategy to optimize the disposal and reuse of this waste, promoting sustainability and operational efficiency. The question then arises: How can we improve the logistics process for the disposal of industrial waste? Thus, the objective was to describe the reverse logistics process adopted for the disposal of industrial waste, highlighting both the environmental and economic improvements resulting from the adoption of the reuse of materials during the production cycle. The methodology was based on a bibliographic review, with a qualitative approach, of a basic nature, with the selection of material published between 2015 and 2025. As a result, it was evident that the adoption of practices that favor recycling and reuse contribute to economic and environmental benefits. It was concluded that the logistics of industrial waste disposal, when planned and executed efficiently, contributes significantly to environmental sustainability and to the optimization of companies' operating costs. It was observed that the reverse logistics process applied to the disposal of industrial waste presents resulting benefits in both environmental and economic aspects.

Keywords: Logistics, Industrial Waste, Disposal, Waste Management, Circular Economy.



1. INTRODUÇÃO

A intensa geração de resíduos sólidos de indústrias é um dos grandes problemas ambientais na atualidade, decorrente da expansão urbana, do crescimento populacional desordenado, aliado a melhoria do poder aquisitivo e a cultura do consumismo, são aspectos relevantes para a formação de algumas problemáticas. Desse modo, acarretando a geração de grandes volumes de resíduos das mais diversas naturezas. Frente a esta perspectiva há uma grande preocupação acerca da gestão desses resíduos, além de se tornar um dos grandes desafios para a gestão pública.

Consoante a isso, sabe-se que os processos em uma indústria são de importância vital para a garantia da qualidade, eficiência e competitividade do negócio, bem como, promover a capacidade de assegurar que os produtos finais atendam aos mais altos padrões de segurança, desempenho e conforto. Ademais, sabe-se que a melhoria dos processos pode refletir diretamente na diminuição dos custos, maior produtividade e prazos de entrega menores, colaborando para garantir a satisfação do cliente e logo, aumento do lucro.

O Brasil tem crescido no desenvolvimento de campos industriais, onde a melhora do processo de logística de descarte de resíduos industriais é essencial para minimizar impactos ambientais e otimizar custos. Insta salientar que a logística reversa é um processo que visa a coleta e o retorno de resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento, reciclagem ou descarte adequado.

Desse modo, se torna fundamental que as empresas implementem metodologias eficazes com o propósito de aplicar melhorias nos processos, assegurando a eficiência operacional, a qualidade dos produtos e a satisfação do cliente.

A logística reversa de resíduos industriais é um processo que permite o planejamento, implementação e controle dos resíduos desde o ponto de consumo até o de origem. A logística reversa pode recuperar o valor dos resíduos por meio da reciclagem ou garantir o descarte adequado, evitando impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública.

A relevância deste estudo consistiu em destacar o papel da logística na otimização dos processos organizacionais das industriais, evitando assim, desperdícios, redução dos custos, maior satisfação e fidelização dos clientes e fortalecimento da organização perante o mercado competitivo.

Destarte, o estudo buscou contribuir para estimular a transformação da referência futura da atuação do engenheiro de produção no âmbito do gerenciamento adequado do descarte de resíduos industriais, com ampliação dos horizontes sobre metodologias de gestão, planejamento, licenciamento e implantações de estratégias inovadoras que possam ser realizadas em face de otimizar a valorização do meio ambiente e a consolidação da harmonia entre consumo e meio ambiente.

A logística reversa consiste de um conjunto de ações, procedimentos e meios. Desse modo, surgiu o seguinte questionamento: Como melhorar o processo de logística de descarte de resíduos industriais?

Assim, o objetivo geral deste artigo foi descrever o processo de logística reversa adotado para descarte dos resíduos industriais, evidenciando as melhorias tanto ambientais quanto econômicas advindas da adoção do reaproveitamento de materiais durante o ciclo produtivo. Já os objetivos específicos foram: verificar os aspectos e peculiaridades do processo de logística de descarte de resíduos industriais; reconhecer a importância da logística reversa para as empresas; relacionar o papel do engenheiro de produção, com destaque

as perspectivas éticas e legais, no processo de consolidação e eficiência da melhoria do processo de logística de descarte de resíduos industriais.

2. METODOLOGIA

Tratou-se de um estudo descritivo pautado em uma revisão bibliográfica, com abordagem qualitativa, de natureza básica. Assim, a coleta de dados ocorreu no período de janeiro a junho de 2025 por meio das bases de dados: da Scientific Eletronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico, utilizando como descritores: Descarte. Logística. Resíduos Industriais. Melhoria do processo.

A seleção da amostra obedeceu aos seguintes critérios de inclusão: artigos, periódicos e livros com texto completo disponível online e gratuitamente, publicados no recorte temporal de 2015 a 2025, que sejam redigidos no idioma português e inglês, que representem trabalhos empíricos, como forma de atualização sobre a temática proposta.

Já os critérios de exclusão foram: publicações que não contemplam o recorte temporal estabelecido, que não estejam redigidas em língua portuguesa e inglesa, que não se encontram indisponíveis eletronicamente de forma completa e gratuita, artigos que estejam repetidos, que não responda à questão norteadora e/ou os objetivos desta revisão, e por fim, serão excluídos outras revisões bibliográficas, teses e dissertações.

A análise de dados foi realizada voltada a construção de um corpus com base na exaustividade, representatividade, homogeneidade e pertinência, aos objetivos propostos, no segundo momento foi realizada a exploração do material selecionado, com enumeração e categorização do conteúdo; por fim houve o tratamento dos resultados obtidos e a interpretação.

Vale ressaltar que todo o trabalho seguiu rigorosamente os quesitos éticos, pautados na Lei de Plágio de nº 9610/98, a fim de respeitar os direitos autorais de cada trabalho utilizado na construção deste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aspectos e peculiaridades do processo de logística de descarte de resíduos industriais

A disposição irregular dos resíduos pode acarretar um conjunto de problemas ao ambiente, como por exemplo, a contaminação do solo e das águas, desenvolvimento de agentes patogênicos, contaminação visual, definhamento da qualidade de vida da sociedade etc. Nessa linha de raciocínio, o eficiente gerenciamento desses materiais, com consolidação de métodos de reciclagem, reutilização ou descarte, poderá colaborar para um maior controle ambiental, manutenção de um ambiente laboral seguro e limpo, maior conscientização dos colaboradores, combate a cultura do descarte ilegal, dentre outros benefícios (Silva et al., 2015).

O processo de logística de descarte de resíduos industriais envolve uma série de etapas e regulamentações que garantem a destinação correta dos materiais descartados, minimizando impactos ambientais e cumprindo normas legais. Esse processo inicia-se com a classificação dos resíduos conforme sua natureza, podendo ser perigosos ou não perigosos, de acordo com critérios estabelecidos por órgãos ambientais. Após a identificação, ocorre a segregação e o acondicionamento adequado, utilizando recipientes específicos

para evitar contaminações e facilitar o transporte (Esteves, 2023).

O transporte dos resíduos deve seguir protocolos rigorosos, envolvendo veículos apropriados e motoristas treinados para manusear materiais que possam oferecer riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Além disso, as empresas geradoras devem manter um controle documental detalhado, registrando a quantidade, o tipo de resíduo e seu destino final. A destinação pode incluir reciclagem, reaproveitamento energético, tratamento ou disposição final em aterros industriais licenciados (Simões et al., 2022). Dentre os aspectos relevantes da logística de descarte, de acordo com Oliveira e Lauriano (2024, p. 10), tem-se:

A rastreabilidade dos resíduos, que permite monitorar todo o percurso, desde a geração até a destinação final, garantindo conformidade com as normas ambientais. Tecnologias como sistemas de gestão de resíduos e *blockchain* têm sido utilizadas para aumentar a transparência e a eficiência desse processo. Ademais, a conscientização e o treinamento dos colaboradores são essenciais para evitar falhas no descarte e promover práticas sustentáveis dentro das indústrias. Assim, a logística de descarte de resíduos industriais não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também para a responsabilidade social corporativa e a conformidade legal das empresas.

O gerenciamento engloba a classificação desses resíduos, em alinhamento com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 307/2002, que instituiu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos industriais, buscando reduzir ou mesmo evitar a geração de RCC, sendo que, deve-se priorizar a redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e o destino final adequados às escórias (Brasil, 2002).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) registrada sob o nº 12.305/10, busca organizar e padronizar o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos em território brasileiro, o que exige que as organizações de natureza pública e privada, maior compromisso e transparência na atividade de gestão de seus resíduos. Isto posto, cabe inferir que, o aumento progressivo do consumo nos centros urbanos e industriais, favorece a criação de vultosa quantidade de resíduos sólidos urbanos, sendo que, com a implantação da PNRS, buscar melhorias no processo de gestão das sobras é a demanda primária (Teixeira Júnior; Prado, 2019).

A Gestão de Resíduos Sólidos é uma reunião de atividades direcionadas para a procura de soluções para a grande quantidade de resíduos sólidos, de maneira a considerar as proporções do segmento político, econômico, ambiental, cultural e social, em prol, da efetivação de um desenvolvimento sustentável da sociedade (Berticelli; Pandolfo; Korf, 2017).

Segundo Schlindwein (2017), o plano de gerenciamento de resíduos sólidos, corresponde a um documento técnico que faz a distinção dos materiais derivados de serviços da indústria, sendo classificados conforme as suas peculiaridades e destino final, que poderá ser a reutilização, reciclagem, destinação ou manejo do material, sendo todas as medidas, efetivamente adequadas para a promoção do meio ambiente.

Ressalta-se que a empregabilidade deste sistema de cooperação, traz à baila, uma sistematização de processos que norteiam as atividades da indústria, que quando aplicados, tem reflexos diretos na redução dos impactos causados no ambiente. As ações que são indicadas pelo plano de gerenciamento de resíduos sólidos, devem ser executadas e planejadas pela empresa, no contexto das atividades diárias (Menegaz; Gaspar, 2020).

O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS) que incluem os resíduos industriais institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com a finalidade de direcionar os ma-

teriais para um descarte correto e seguindo os seguintes princípios: prevenção da geração, reutilização, reciclagem, minimização dos resíduos gerados e a recuperação e tratamento do meio ambiente (Aurélio; Henkes, 2015).

3.2 Importância da logística reversa para as empresas

Conforme Campos e Goulart (2017), a logística reversa é fundamental para as empresas, pois permite o retorno de produtos, embalagens e materiais ao ciclo produtivo ou à destinação ambientalmente adequada, contribuindo para a sustentabilidade e a redução de custos. Esse processo envolve a coleta, o transporte, o reaproveitamento e o descarte correto de itens pós-consumo ou pós-venda, garantindo a conformidade com legislações ambientais e melhorando a imagem da empresa perante consumidores e órgãos reguladores.

A logística reversa vem como uma nova concepção do processo logístico, sendo uma estratégia que viabiliza o retorno dos resíduos de pós-venda e pós-consumo ao ambiente de negócios e/ou ao setor produtivo. Traz, também, à tona a questão da responsabilidade perante a produção e consumo de produtos e resíduos gerados. Quando se apropriam de suas responsabilidades, os atores sociais se posicionam e interagem, ressignificando-se na sociedade. A articulação de todos esses atores poderia conduzir a uma mudança cultural que valorizasse a sustentabilidade (Aurélio; Pimenta; Ueno, 2015).

A logística reversa é um processo que envolve o retorno de produtos e materiais do ponto de consumo ao ponto de origem, com o objetivo de reaproveitar, reciclar ou descartar adequadamente esses itens. Esse processo é fundamental para a sustentabilidade e a gestão eficiente de resíduos (Nogueira, 2018).

Assim, dentre os benefícios da logística reversa, tem-se redução da necessidade de extração de novas matérias-primas e diminui o impacto ambiental; maior economia e maior eficiência no uso de recursos naturais; promoção da responsabilidade compartilhada, em que envolve consumidores, empresas e governo na gestão adequada dos resíduos (Victor, 2020).

O processo de logística se divide em etapas, a saber: coleta, transporte, processamento. Insta salientar que a logística reversa poderá ser pós-venda ou pós-consumo. Implementar a logística reversa pode trazer inúmeros benefícios para as empresas e a sociedade, promovendo um ciclo de vida mais sustentável para os produtos (Nogueira, 2018).

Assim, segundo Silva e Rodrigues (2022), para melhorar o processo de logística de descarte de resíduos industriais é essencial para aumentar a eficiência, reduzir custos e minimizar o impacto ambiental. Dessa forma, algumas estratégias que podem ser implementadas são o mapeamento de processo, automatização e uso da tecnologia para melhorar a eficiência e rastreabilidade, implementação da logística reversa, investir em treinamento e capacitação dos funcionários, estabelecimento de parcerias com empresas de reciclagem, dentre outras. Essas estratégias não só ajudam a melhorar a logística de descarte de resíduos industriais, mas também promovem práticas mais sustentáveis e responsáveis.

Além de atender a exigências legais, Barbosa (2018) aponta que a logística reversa possibilita a reutilização de matérias-primas, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e diminuindo desperdícios. Empresas que adotam essa prática podem obter vantagens competitivas, como a fidelização de clientes, que valorizam marcas sustentáveis, e a otimização de processos produtivos, gerando economia e eficiência operacional.

Outro benefício relevante é a mitigação de impactos ambientais, evitando a conta-

minação do solo, da água e do ar por resíduos descartados inadequadamente. Ao integrar a logística reversa à sua estratégia de negócios, as empresas demonstram compromisso com a responsabilidade socioambiental, fortalecem sua reputação e podem até mesmo criar novas oportunidades de receita, como a revenda de materiais recicláveis e o desenvolvimento de modelos de economia circular (Simões *et al.*, 2022). Dessa forma, a logística reversa não é apenas uma exigência regulatória, mas um diferencial estratégico que impulsiona a inovação e a sustentabilidade corporativa.

3.2.1 Economia circular

A economia circular é um modelo econômico que busca transformar o tradicional paradigma linear de produção e consumo — caracterizado pelo ciclo “extrair, produzir, consumir e descartar” — em um sistema regenerativo, no qual os recursos são mantidos em uso pelo maior tempo possível, extraindo seu máximo valor antes de serem reciclados ou reaproveitados. Esse conceito tem ganhado destaque mundial como resposta aos desafios ambientais contemporâneos, como o esgotamento dos recursos naturais, a geração crescente de resíduos e as mudanças climáticas (Zhang; Sun, 2023).

Segundo Bocken *et al.*, (2020), a implementação da economia circular envolve diversas estratégias, incluindo o design de produtos para facilitar a desmontagem e reciclagem, a extensão da vida útil dos produtos por meio da manutenção e reparos, a reutilização de materiais no processo produtivo, e a adoção de sistemas de logística reversa eficientes. Além disso, políticas públicas e regulações ambientais desempenham papel fundamental para incentivar e regulamentar a transição para esse modelo, enquanto a conscientização e o engajamento de consumidores e empresas são essenciais para o sucesso das iniciativas circulares.

Nos últimos anos, a economia circular tem sido incorporada em agendas empresariais e governamentais em todo o mundo, impulsionada pela urgência de mitigar os impactos ambientais e garantir a segurança dos recursos para as futuras gerações. Setores industriais variados, como o automobilístico, eletrônico, têxtil e de construção civil, têm desenvolvido soluções baseadas na circularidade, promovendo cadeias produtivas mais responsáveis e sustentáveis (Zhang; Sun, 2023).

Apesar dos avanços, desafios significativos permanecem para a adoção ampla da economia circular. Entre eles estão a necessidade de infraestrutura adequada para coleta e reciclagem, barreiras tecnológicas e econômicas para o redesign de produtos, falta de padronização e colaboração entre atores da cadeia produtiva, e a necessidade de mudanças culturais em relação ao consumo e descarte. Superar essas dificuldades requer investimentos em pesquisa e desenvolvimento, formação de parcerias público-privadas, incentivos fiscais e políticas regulatórias que estimulem a inovação sustentável (Bocken *et al.*, 2020).

3.3 Importância do engenheiro de produção no processo de logística reversa

O engenheiro de produção desempenha um papel essencial na consolidação e eficiência da melhoria do processo de logística de descarte de resíduos industriais, combinando conhecimentos técnicos, estratégicos e normativos para garantir que esse processo ocorra de forma sustentável, econômica e em conformidade com a legislação vigente. Sua

atuação abrange desde a análise e otimização dos fluxos logísticos até a implementação de tecnologias que aumentem a rastreabilidade e a eficiência da destinação de resíduos (Leite, 2017).

Do ponto de vista ético, o engenheiro de produção tem a responsabilidade de promover práticas que minimizem os impactos ambientais e sociais do descarte industrial, incentivando o uso de materiais recicláveis, a redução do desperdício e a adoção de métodos sustentáveis no gerenciamento de resíduos. Ele também deve garantir que as operações respeitem os princípios da economia circular, fomentando o reaproveitamento de insumos e a valorização dos resíduos como parte integrante da cadeia produtiva (Silva; Rodrigues, 2022).

No aspecto legal, o profissional deve assegurar que a empresa esteja em conformidade com normas ambientais nacionais e internacionais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), garantindo que a segregação, o transporte e a destinação final dos resíduos sejam feitos de acordo com as exigências dos órgãos reguladores. Além disso, a manutenção de registros detalhados sobre a geração e o descarte de resíduos é fundamental para auditorias e relatórios de sustentabilidade (Leite, 2017).

A busca contínua por inovação também é uma atribuição do engenheiro de produção nesse contexto, seja por meio da aplicação de novas metodologias, como a logística reversa e olean manufacturing, seja pela adoção de tecnologias como automação e sistemas de rastreamento digital. Dessa forma, sua atuação não apenas contribui para a eficiência operacional da empresa, reduzindo custos e desperdícios, mas também reforça o compromisso corporativo com a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental (Barbosa, 2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que a logística de descarte de resíduos industriais, quando planejada e executada de forma eficiente, contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental e para a otimização dos custos operacionais das empresas. Este trabalho teve como objetivo descrever o processo de logística reversa aplicado ao descarte de resíduos industriais, destacando os benefícios resultantes tanto no aspecto ambiental quanto econômico.

A análise permitiu evidenciar que a adoção de práticas de reaproveitamento e reciclagem dentro do ciclo produtivo não apenas reduz o volume de resíduos destinados a aterros ou tratamentos externos, como também promove ganhos financeiros através da diminuição de custos com matérias-primas e destinação final. Além disso, essas práticas fortalecem a imagem institucional da empresa, alinhando-a às exigências legais e às demandas crescentes por responsabilidade socioambiental.

Contudo, percebe-se que ainda existem desafios a serem superados, como a necessidade de maior engajamento dos colaboradores, investimentos em tecnologias adequadas e o fortalecimento de parcerias com empresas especializadas no tratamento e reaproveitamento de resíduos.

Portanto, fica evidente que melhorar o processo de logística de descarte de resíduos industriais não é apenas uma obrigação legal, mas uma oportunidade estratégica. As empresas que investem em logística reversa e em práticas sustentáveis tendem a se destacar no mercado, reduzindo impactos ambientais e fortalecendo sua competitividade econômica.



Referências

- AURELIO, C.; HENKES, J.A. Gestão de resíduos através da logística reversa de medicamentos. In: **Revista Gestão Sustentável Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 487- 518, abr./set., 2015.
- BARBOSA, T. S. P. A logística reversa como instrumento de vantagem competitiva. **Revista Terceiro Setor & Gestão-UNG-Ser**, v. 11, n. 1, p. 05-23, 2018.
- BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; KORF, E. A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 5, n.2, p. 711-744, 2017.
- BOCKEN, N.M.P; et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v.33, n.5, p.308-320, 2020.
- BRASIL, Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **CONAMA nº 307: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. 1 ed. Brasília: José Carlos Carvalho, 2002.
- CAMPOS, A.; GOULART, V. D. G. **Logística reversa integrada: Sistemas de responsabilidade pós-consumo aplicados ao ciclo de vida dos produtos**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2017.
- ESTEVES, O.O. **Melhoria do processo de logística de descarte de resíduos industriais em uma encarroçadora de ônibus**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2023.
- LEITE, P. R. **Logística reversa: sustentabilidade e competitividade**. 3.ed. São Paulo: Saraiva, 2017.
- MENEGAZ, M.; GASPAR, R.P. **Estudo sobre gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. 2020, (Monografia): Tibarão, UNISUL, 2020.
- NOGUEIRA, A. S. **Logística empresarial: um guia prática de operações logísticas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- OLIVEIRA, L.F.; LAURIANO, N. **A logística reversa no reaproveitamento de resíduos em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais na cidade de Colatina – ES**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Administração, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2024.
- SCHLINDWEIN, B. B. **Destinação dos Resíduos Sólidos da Construção Civil em Florianópolis/SC: Estudo de Caso**. 2017, (Monografia): Florianópolis, Universidade Do Sul de Santa Catarina, 2017.
- SILVA, B.R.; et al. **Descarte residencial de medicamentos e sensibilização sobre impacto ambiental dos acadêmicos de biologia**. 2015. 33 F. Monografia. Licenciado em Ciências Biológicas. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, 2015.
- SILVA, L. R.; RODRIGUES, B. V. D. R. **Práticas de Logística Reversa de uma Empresa no Segmento de Bebidas no Município de Aracati**. Anais da FVJ & Ciência 2022.1 do Centro Universitário do Vale do Jaguaribe, Aracati-CE Ano 3 - Volume 3 - Edição 1, pág. 20 – 22. 2022.
- SIMÕES, A.L.; et al. **Logística reversa reaproveitamento de garrafa pet**. Trabalho de conclusão de curso, Escola Técnica Estadual de Mauá – Extensão João Paulo II, 2022.
- TEIXEIRA JÚNIOR, A.; PRADO, D.A. **Estudo do reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil**. 2019, (Monografia): Jaraguá, FEJA, 2019.
- VICTOR, H. R. **Logística reversa: principais práticas da empresa “O Boticário”**. 2020 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Faculdade Evangélica de Rubiataba, Faculdade de Administração, Rubiataba, 2020.
- ZHANG, X.; SUN, L. Circular economy implementation: Barriers and enablers for sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v.375, n.134079, 2023.



LEAN MANUFACTURING NA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA DO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

LEAN MANUFACTURING IN THE BRAZILIAN RAILWAY INDUSTRY: A
SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Gleycy da Silva Coimbra
Mirian Nunes de Carvalho Nunes
Wagner Elvio de Loiola Costa

12

Resumo

Este trabalho tem como foco a análise da utilização do *Lean Manufacturing* na indústria ferroviária brasileira, por meio de uma revisão sistemática da literatura. A pesquisa surgiu da necessidade de compreender como essa abordagem tem sido aplicada no setor ferroviário nacional, buscando identificar os principais desafios, benefícios e práticas adotadas. O objetivo geral consistiu em analisar a aplicação do *Lean Manufacturing* nesse contexto, enquanto os objetivos específicos visaram mapear as práticas mais comuns, reconhecer os obstáculos enfrentados e destacar os resultados positivos evidenciados nos estudos selecionados. A metodologia adotada foi a revisão sistemática da literatura, com a seleção e análise de publicações científicas nacionais relacionadas ao tema. Os resultados demonstraram que, embora ainda haja limitações quanto à implementação do *Lean Manufacturing* no setor ferroviário brasileiro, como resistência à mudança e falta de capacitação técnica, observa-se uma tendência crescente de adoção de práticas lean com vistas à melhoria da eficiência e da competitividade. As principais contribuições deste estudo envolvem o fornecimento de um panorama atualizado sobre o tema e a indicação de caminhos para futuras pesquisas que aprofundem a análise sobre a eficácia e a viabilidade dessa filosofia de gestão no setor ferroviário nacional.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*. Indústria ferroviária. Revisão sistemática. Melhoria contínua. Gestão da produção.

Abstract

This study focuses on analyzing the use of Lean Manufacturing in the Brazilian railway industry through a systematic literature review. The research arose from the need to understand how this approach has been applied in the national railway sector, seeking to identify the main challenges, benefits and practices adopted. The general objective was to analyze the application of Lean Manufacturing in this context, while the specific objectives aimed to map the most common practices, recognize the obstacles faced and highlight the positive results evidenced in the selected studies. The methodology adopted was a systematic literature review, with the selection and analysis of national scientific publications related to the subject. The results demonstrated that, although there are still limitations regarding the implementation of Lean Manufacturing in the Brazilian railway sector, such as resistance to change and lack of technical training, there is a growing trend towards the adoption of lean practices with a view to improving efficiency and competitiveness. The main contributions of this study involve providing an updated overview of the subject and indicating paths for future research that deepen the analysis of the effectiveness and viability of this management philosophy in the national railway sector.

Keywords: Lean Manufacturing. Railway industry. Systematic review. Continuous improvement. Production management.

1. INTRODUÇÃO

A indústria ferroviária desempenha um papel estratégico no sistema logístico brasileiro, sendo um modal essencial para o transporte de cargas em longas distâncias. No entanto, desafios como a baixa eficiência operacional, altos custos e desperdícios ao longo da cadeia produtiva impactam diretamente a competitividade do setor. Diante desse cenário, a adoção de metodologias voltadas à otimização dos processos produtivos tem sido amplamente discutida, destacando-se o *Lean Manufacturing* como uma abordagem promissora para a melhoria do desempenho das operações ferroviárias.

O *Lean Manufacturing*, originalmente desenvolvido no contexto da indústria automobilística, tem sido adaptado para diversos segmentos produtivos, incluindo o setor ferroviário. Essa metodologia busca reduzir desperdícios, melhorar a produtividade e aumentar a qualidade dos serviços e produtos por meio da eliminação de atividades que não agregam valor ao cliente. No Brasil, onde o transporte ferroviário enfrenta desafios estruturais e operacionais, a implementação do *Lean Manufacturing* pode contribuir significativamente para a modernização e eficiência do setor.

Diante dessa perspectiva, surge o seguinte problema de pesquisa: Quais são as principais dificuldades, vantagens e melhores práticas adotadas no setor ferroviário, e de que maneira podem oferecer subsídios para a melhoria das operações ferroviárias? A relevância desse estudo justifica-se pela necessidade de identificar os principais desafios, benefícios e práticas adotadas na utilização do *Lean Manufacturing* nesse contexto, de forma a fornecer subsídios para aprimoramento das operações ferroviárias e aumento da competitividade do setor no país.

O objetivo geral deste estudo é analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a utilização do *Lean Manufacturing* na indústria ferroviária brasileira, identificando suas principais estratégias e impactos. Para isso, os objetivos específicos incluem mapear as principais práticas do *Lean Manufacturing* adotadas no setor ferroviário, identificar os desafios enfrentados na sua utilização e verificar os benefícios observados em estudos e experiências documentadas na literatura acadêmica.

Assim, este artigo pretende contribuir para o debate acadêmico e profissional sobre a eficiência operacional da indústria ferroviária brasileira, apresentando um panorama atualizado das estratégias *Lean* aplicadas ao setor. A sistematização do conhecimento existente permitirá compreender melhor como essa abordagem pode ser adaptada para atender às particularidades do transporte ferroviário, auxiliando na tomada de decisão e na formulação de políticas e estratégias de gestão mais eficazes.

Este estudo explora como a aplicação do *Lean Manufacturing* tem sido abordada no setor ferroviário brasileiro, dada a necessidade de otimização no setor ferroviário brasileiro. Ao evidenciar as potencialidades e limitações da utilização do *Lean Manufacturing* na indústria ferroviária do Brasil, esta pesquisa busca fomentar reflexões sobre a melhoria contínua e a busca por maior eficiência no transporte ferroviário brasileiro.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo consiste em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo, voltada para a análise do uso do *Lean Manufacturing* na indústria ferroviária brasileira. Foram selecionados e analisados 16 artigos, dissertações, teses e documentos



técnicos, publicados entre 2015 e 2025, garantindo a atualidade e a relevância dos dados.

A pesquisa foi realizada em bases de dados acadêmicas e científicas, como Scielo, Periódicos CAPES, Engineering Village, Scopus e Web of Science, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras. Também foi utilizado o Google Scholar como ferramenta auxiliar para identificar materiais relevantes, mas com análise posterior de sua pertinência e qualidade.

Para a seleção dos trabalhos, os critérios de inclusão adotados foram: publicações em português e inglês que abordassem explicitamente a aplicação do Lean Manufacturing no setor ferroviário, incluindo estudos de caso, análises de implementação e resultados obtidos. Foram excluídos artigos de revisão, resumos de eventos (como congressos e simpósios), e documentos que não apresentavam uma metodologia clara ou não estavam disponíveis na íntegra. Por exemplo, relatórios institucionais sem fundamentação metodológica ou resumos de eventos sem desenvolvimento analítico foram desconsiderados.

A busca utilizou descritores específicos, como “Lean Manufacturing na indústria ferroviária”, “eficiência operacional ferroviária”, “gestão enxuta em ferrovias” e “melhoria contínua no setor ferroviário”, além de seus correspondentes em inglês.

Após a seleção, os dados foram analisados por meio de uma meta-síntese e de uma análise temática, a fim de identificar padrões, divergências e lacunas nos estudos revisados. Essa abordagem permitiu classificar as principais práticas, desafios e impactos da adoção do Lean Manufacturing no setor ferroviário.

A análise crítica envolveu a comparação entre os resultados obtidos e as referências teóricas do Lean Manufacturing, buscando relacionar as evidências empíricas aos conceitos fundamentais da metodologia. Dessa forma, o estudo oferece uma visão abrangente e atualizada sobre a utilização do Lean Manufacturing no contexto ferroviário brasileiro, constituindo um referencial teórico que pode servir de base para futuras pesquisas e para decisões estratégicas voltadas ao aprimoramento da eficiência operacional do transporte ferroviário no Brasil.

3. PRINCÍPIOS E UTILIZAÇÃO DO *LEAN MANUFACTURING* NO SETOR FERROVIÁRIO

Lean Manufacturing, originado no Sistema Toyota de Produção, é um modelo de gestão voltado para a redução de desperdícios, otimização de processos e aumento da eficiência. Seus princípios fundamentais incluem a identificação e eliminação de desperdícios (Muda), a melhoria contínua (Kaizen), a produção puxada (*Just-in-Time*), a padronização de processos e o envolvimento dos trabalhadores em todos os níveis. A abordagem Lean busca criar valor para o cliente através da maximização da produtividade e da qualidade, garantindo a sustentabilidade operacional das organizações (Fuster, 2021; Pellegrino; Toledo, 2015).

No setor ferroviário, a utilização do *Lean Manufacturing* apresenta desafios e oportunidades únicas. Diferentemente da indústria de manufatura tradicional, onde os processos são repetitivos e previsíveis, a manutenção, operação e fabricação de sistemas ferroviários envolvem variabilidade significativa. Por isso, a adaptação da metodologia Lean para essa indústria requer um entendimento profundo das particularidades do setor, como longos ciclos de vida dos equipamentos, alta complexidade logística e necessidade de confiabilidade extrema (Pereira *et al.*, 2015; Fici, 2017).

Uma das formas mais eficazes de aplicar o *Lean* no setor ferroviário é através da otimização das cadeias de suprimentos e da manutenção preditiva. A implementação de técnicas como 5S, gestão visual e análise de valor ajuda a eliminar desperdícios em processos de manutenção e fabricação de componentes ferroviários. Além disso, a digitalização e a automação de processos permitem reduzir tempos de inatividade e aumentar a disponibilidade dos ativos, garantindo maior eficiência operacional (Dorneles, 2021; Hidayat et al., 2021).

No Brasil, algumas empresas ferroviárias têm adotado práticas *Lean* para melhorar a eficiência de suas operações. Um exemplo notável é a utilização de técnicas *Lean* na manutenção de locomotivas e vagões. A implementação de células de manutenção enxuta, combinada com a filosofia de trabalho padronizado, tem permitido reduzir os tempos de reparo e aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Além disso, o uso do conceito de gestão à vista tem melhorado a transparência das operações e facilitado a tomada de decisões rápidas e eficazes (Santos et al., 2022; Rovai et al., 2015).

Internacionalmente, diversas companhias ferroviárias também têm colhido benefícios da utilização do *Lean Manufacturing*. A empresa japonesa JR East, por exemplo, implementou um sistema de manutenção baseado no *Just-in-Time* para reduzir desperdícios e melhorar a disponibilidade de seus trens. O modelo permite uma melhor sincronização entre a demanda por manutenção e a disponibilidade de peças e técnicos, garantindo que os trens passem menos tempo fora de operação e maximizem sua utilização (Santos et al., 2022).

Outro exemplo de sucesso na utilização do *Lean* no setor ferroviário é a *Deutsche Bahn*, na Alemanha. A empresa tem investido em processos de melhoria contínua para reduzir tempos de ciclo e aumentar a eficiência no transporte de passageiros e cargas. Programas de treinamento para os funcionários, padronização de processos e investimentos em tecnologia de monitoramento remoto têm sido fundamentais para alcançar altos níveis de desempenho e confiabilidade (Júnior, 2020; Dorneles, 2021).

A integração do *Lean Manufacturing* com tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de dados, tem permitido um avanço significativo na eficiência do setor ferroviário. Sensores inteligentes e algoritmos de manutenção preditiva ajudam a monitorar o desempenho dos equipamentos em tempo real, permitindo a antecipação de falhas e a minimização do tempo de inatividade. Dessa forma, as empresas ferroviárias podem reduzir custos operacionais e melhorar a segurança e a pontualidade dos serviços (Hidayat et al., 2021; Fuster, 2021).

A adoção do *Lean* no setor ferroviário não se limita apenas à manutenção e fabricação de componentes. Ele também pode ser aplicado à gestão de terminais de carga e estações de passageiros. A redução de tempos de espera, o balanceamento de fluxo de trabalho e a eliminação de desperdícios em atividades administrativas contribuem para um sistema ferroviário mais ágil e eficiente, atendendo melhor às necessidades dos clientes (Rovai et al., 2015; Pereira et al., 2015).

Apesar dos benefícios, a implementação do *Lean* no setor ferroviário enfrenta desafios como resistência à mudança, necessidade de investimentos iniciais e a complexidade da adaptação da metodologia para um setor tradicionalmente burocrático. No entanto, com o engajamento da alta gestão e a capacitação dos colaboradores, as organizações ferroviárias podem superar esses desafios e obter vantagens competitivas sustentáveis (Dorneles, 2021; Fuster, 2021).

A utilização do *Lean Manufacturing* no setor ferroviário tem o potencial de transformar a indústria, tornando-a mais eficiente, segura e competitiva. Com a eliminação de

desperdícios, o aprimoramento contínuo dos processos e o uso de tecnologias avançadas, as empresas do setor podem garantir maior produtividade e qualidade nos serviços prestados. A adaptação do *Lean* às especificidades da ferrovia é um passo fundamental para a modernização e otimização das operações, beneficiando tanto as organizações quanto os usuários do transporte ferroviário (Santos *et al.*, 2022).

4. DESAFIOS E BARREIRAS NA IMPLEMENTAÇÃO DO *LEAN MANUFACTURING* NAS FERROVIAS BRASILEIRAS

A implementação do *Lean Manufacturing* nas ferrovias brasileiras representa uma oportunidade estratégica para aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e melhorar a competitividade do setor ferroviário. No entanto, essa adoção enfrenta desafios consideráveis, especialmente considerando a complexidade e as especificidades da infraestrutura ferroviária no Brasil. O conceito de *Lean Manufacturing*, originado no Japão e focado na eliminação de desperdícios e no aumento da eficiência, precisa ser adaptado ao contexto das ferrovias, que operam com condições estruturais e operacionais complexas (Alves *et al.*, 2019).

O sistema ferroviário brasileiro enfrenta sérias dificuldades estruturais, que dificultam a implementação de métodos *Lean*. A malha ferroviária no Brasil é extensa, mas está mal conservada, com muitos trechos obsoletos e deficientes em termos de infraestrutura. As condições precárias de trilhos, pontes, passagens de nível e terminais logísticos exigem investimentos massivos antes que qualquer estratégia de melhoria contínua, como o *Lean*, seja eficaz. Essa falta de infraestrutura robusta e confiável aumenta o tempo de ciclo e os custos operacionais, limitando o sucesso de processos mais ágeis (Pereira; Da Rosa; Lunkes, 2015).

Além das limitações estruturais, as ferrovias brasileiras enfrentam desafios operacionais significativos. A falta de integração entre os diferentes modos de transporte, como rodovias e hidrovias, cria gargalos logísticos que tornam difícil o fluxo eficiente de mercadorias. A coordenação entre os diferentes elos da cadeia de suprimentos ferroviária é limitada, o que compromete a utilização do *Lean Manufacturing*, que depende de uma operação integrada e fluida. O processo de carga e descarga também é ineficiente, devido à falta de tecnologia e de sistemas adequados para o monitoramento em tempo real (Colavite; Konishi, 2015).

Um dos maiores obstáculos à implementação do *Lean* nas ferrovias brasileiras é a resistência organizacional. Empresas que operam no setor ferroviário, muitas vezes, possuem uma cultura tradicional, focada em processos que evoluíram ao longo de décadas. A introdução de novas práticas exige uma mudança significativa na forma de trabalhar, o que muitas vezes gera resistência por parte dos funcionários e das lideranças. Para que o *Lean* tenha sucesso, é fundamental que haja uma mudança de mentalidade, o que pode ser difícil em um setor com tantos anos de tradição e pouca flexibilidade (Botelho *et al.*, 2023).

Além da resistência organizacional, a cultura local de trabalho nas ferrovias pode ser uma barreira significativa. Muitas empresas ferroviárias no Brasil têm uma estrutura hierárquica rígida, onde a comunicação entre níveis operacionais e gerenciais é limitada. O *Lean*, que exige uma maior colaboração e troca de informações em todos os níveis da organização, entra em conflito com essa estrutura. A cultura de “fazer do jeito que sempre foi feito” é profundamente enraizada, o que dificulta a implementação de práticas inovadoras que buscam transformar a maneira como as operações ferroviárias são gerenciadas.

(Castro, 2018).

Outro fator crítico é a falta de conhecimento adequado sobre o *Lean Manufacturing* entre os colaboradores das ferrovias brasileiras. Muitas vezes, os profissionais do setor não possuem formação específica em metodologias de melhoria contínua ou não entendem os princípios fundamentais do *Lean*, como a eliminação de desperdícios e a otimização de processos. A ausência de programas de capacitação e treinamento adequados limita a eficácia da implementação do *Lean*, já que a adoção dessa abordagem depende diretamente da competência e do engajamento dos profissionais envolvidos (Dorneles, 2021).

As limitações tecnológicas também representam um grande obstáculo para a implementação do *Lean* nas ferrovias. Em um setor tão vasto e com tantas variáveis, como o ferroviário, a digitalização dos processos é essencial para a coleta de dados, monitoramento e análise em tempo real. No entanto, muitas empresas ferroviárias brasileiras ainda operam com sistemas antiquados e têm dificuldade para adotar novas tecnologias, como sensores, sistemas de rastreamento e inteligência artificial. A falta de infraestrutura tecnológica impede a implementação eficaz do *Lean*, que depende de dados precisos e em tempo real para otimizar operações (Fuster, 2021).

A implementação do *Lean* nas ferrovias brasileiras demanda investimentos significativos em infraestrutura, tecnologia e treinamento. No entanto, o setor ferroviário brasileiro enfrenta um problema crônico de escassez de investimentos. A falta de recursos para modernizar os trilhos, renovar os vagões e adotar sistemas tecnológicos avançados cria uma barreira financeira difícil de superar. Sem esses investimentos iniciais, a utilização do *Lean* será limitada e poderá gerar poucos resultados. A falta de financiamento também pode resultar em cortes que afetam diretamente a capacidade de implementar melhorias contínuas (BCG, 2020).

A integração do sistema ferroviário com outros modos de transporte, como rodovias e portos, é essencial para garantir a fluidez das operações logísticas e, consequentemente, para a adoção bem-sucedida do *Lean Manufacturing*. No entanto, a infraestrutura de transporte no Brasil é fragmentada e carece de integração. Superar essa barreira requer uma mudança na forma como os diferentes modais de transporte são planejados e operados no país (Santos *et al.*, 2022).

O ambiente regulatório e burocrático no Brasil também representa um obstáculo importante. As ferrovias estão sujeitas a uma série de regulamentações e licenças que podem ser demoradas e complexas. A implementação do *Lean* exige agilidade, flexibilidade e a capacidade de fazer ajustes rápidos nos processos operacionais, mas a burocracia e a rigidez regulatória dificultam essa flexibilidade. A falta de uma política pública clara e orientada para a modernização do setor ferroviário limita o alcance das iniciativas *Lean*, tornando o processo de transformação ainda mais demorado e difícil (Pereira; Da Rosa; Lunkes, 2015).

Os custos operacionais no setor ferroviário brasileiro são elevados, o que torna ainda mais difícil justificar a implementação do *Lean*. Embora o *Lean* seja focado na redução de desperdícios, a adoção dessa metodologia exige um investimento inicial significativo em treinamento, tecnologia e reestruturação de processos. No contexto de uma indústria ferroviária com margens de lucro apertadas e altos custos fixos, como o de manutenção de infraestrutura e pagamento de pessoal, muitas empresas podem se sentir relutantes em assumir esses custos adicionais, mesmo que a longo prazo o *Lean* traga benefícios financeiros (Rovai; Rocco; Franciscato, 2015).

Implementar o *Lean Manufacturing* de maneira eficaz nas ferrovias brasileiras exige uma adaptação em larga escala, que envolva diferentes tipos de operações e unidades ao longo do território nacional. A variação das condições operacionais entre as diferentes



regiões do Brasil dificulta a padronização dos processos, que é um dos pilares do *Lean*. A dispersão geográfica e as diferenças nas características locais aumentam a complexidade da implementação, o que exige uma abordagem mais flexível, que ainda precisa ser refinada para atender a todos os pontos da cadeia ferroviária (Dorneles, 2021).

O setor ferroviário brasileiro também está inserido em um ambiente altamente competitivo, no qual as empresas enfrentam a pressão de reduzir custos e melhorar a eficiência constantemente. Contudo, o custo de oportunidade relacionado à implementação do *Lean* pode ser um impeditivo para algumas empresas. O tempo necessário para treinar equipes, ajustar processos e implementar novas tecnologias pode ser visto como uma desvantagem, já que os concorrentes podem estar avançando em outras áreas, como a modernização dos caminhões ou na melhoria de outros modais de transporte (Barboza; Oliveira, 2022).

A segurança é uma prioridade no setor ferroviário, e qualquer mudança nos processos de operação precisa ser cuidadosamente analisada para não comprometer essa segurança. No entanto, o foco do *Lean Manufacturing* em otimizar os processos e eliminar desperdícios pode ser interpretado por alguns como uma redução de recursos para garantir padrões de segurança. A integração do *Lean* com a cultura de segurança existente nas ferrovias exige uma comunicação clara e eficaz, para garantir que as melhorias operacionais não prejudiquem os requisitos de segurança (FICI, 2017).

A implementação do *Lean Manufacturing* nas ferrovias brasileiras não é um desafio simples e requer uma série de adaptações estruturais, culturais e operacionais. No entanto, ao superar as barreiras relacionadas à resistência à mudança, limitações tecnológicas, custos elevados e a complexidade da infraestrutura ferroviária, o setor pode alcançar uma maior eficiência e competitividade. Investimentos em tecnologia, treinamento e a integração com outros modos de transporte são fundamentais para que o *Lean* se torne uma estratégia eficaz no contexto ferroviário brasileiro (Alves et al., 2019).

5. BENEFÍCIOS E IMPACTOS DA GESTÃO ENXUTA NO TRANSPORTE FERROVIÁRIO

A gestão enxuta, também conhecida como Lean Management, tem sido amplamente adotada em várias indústrias, e no setor ferroviário, seus benefícios são significativos. O modelo foca na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua dos processos, gerando impactos positivos tanto na eficiência operacional quanto na sustentabilidade, além de contribuir para a modernização do setor. A implementação de práticas enxutas no transporte ferroviário tem demonstrado, em diversas pesquisas, a redução de custos e o aumento da produtividade, que são essenciais para aumentar a competitividade da indústria ferroviária (Alves et al., 2019; Barboza; Oliveira, 2022; BCG, 2020).

A premissa fundamental da gestão enxuta é a eliminação de desperdícios, o que se traduz em uma redução de processos ineficazes, movimentações desnecessárias, inventários excessivos e desperdício de tempo e recursos. No setor ferroviário, a utilização de práticas enxutas resulta na otimização das operações, com a melhoria dos fluxos logísticos, a redução de falhas de manutenção e a eliminação de tempos ociosos de equipamentos. A utilização de técnicas de Lean Manufacturing, como observado por diversos autores, permite uma maior eficiência no uso de recursos e no tempo de operação das locomotivas, refletindo diretamente na produtividade das empresas (Botelho et al., 2023; Calado, 2017).

A gestão enxuta também contribui para a melhoria da qualidade dos serviços ofere-

cidos pelas empresas ferroviárias. A redução de erros operacionais, o uso otimizado dos recursos humanos e a manutenção eficiente dos trens ajudam a entregar um serviço mais confiável e pontual, o que impacta positivamente a satisfação dos clientes. A eliminação de processos redundantes e a diminuição de custos operacionais possibilitam uma redução significativa nos custos totais, o que gera a possibilidade de reinvestir em melhorias ou até mesmo reduzir as tarifas, tornando o serviço mais competitivo (Castro, 2018; Fuster, 2021).

Outro aspecto importante da gestão enxuta no setor ferroviário é sua contribuição para a sustentabilidade. A redução de desperdícios de energia, combustível e materiais se alinha com as exigências ambientais atuais, promovendo um transporte mais sustentável. Além disso, a gestão enxuta pode acelerar a modernização do setor, integrando novas tecnologias, como sistemas avançados de monitoramento e controle de tráfego, que contribuem para uma operação mais eficiente e ecologicamente correta. O uso de tecnologias digitais, conforme evidenciado em estudos, permite uma gestão mais precisa e ecológica das operações ferroviárias (Dorneles, 2021; Fici, 2017).

A adoção de práticas enxutas pode melhorar a competitividade do setor ferroviário, tornando-o mais eficiente em comparação com outros modos de transporte, como o rodoviário. A redução de custos operacionais possibilita que o transporte ferroviário se torne uma alternativa mais acessível e atraente para empresas que dependem do transporte de grandes volumes de carga. Em um mercado competitivo, a implementação de tais práticas representa um diferencial importante para as empresas que buscam manter ou expandir sua participação no mercado. A adoção de tais práticas fortalece o setor, tornando-o uma opção mais eficiente e sustentável frente aos outros modais de transporte (Colavite; Konishi, 2015; Santos *et al.*, 2022).

A gestão enxuta também proporciona maior flexibilidade para as operações ferroviárias, permitindo que as empresas se adaptem rapidamente às mudanças na demanda ou nas condições operacionais. A agilidade em ajustar processos e operações, como a alteração das rotas ou aumento da frequência de viagens, sem comprometer a qualidade do serviço, é uma vantagem competitiva significativa. A gestão enxuta, com base na simplificação de processos e análise de fluxos, torna o setor ferroviário mais ágil e adaptável às flutuações do mercado (Rovai *et al.*, 2015; Júnior, 2020).

A gestão enxuta, ao focar na melhoria contínua, também valoriza o capital humano dentro da organização. A participação ativa dos colaboradores no processo de melhoria e a capacitação constante resultam em uma equipe mais engajada e motivada. Isso não só melhora os processos, mas também cria um ambiente de trabalho mais produtivo e colaborativo. Ao envolver os colaboradores na identificação de problemas e soluções, a empresa também consegue aproveitar melhor o conhecimento e a experiência de sua força de trabalho, criando uma cultura de melhoria contínua que beneficia toda a organização (Hidayat *et al.*, 2021; Pellegrino; Toledo, 2015).

A segurança operacional é uma das maiores preocupações no setor ferroviário, e a gestão enxuta pode contribuir para aumentar a confiabilidade e segurança das operações. A redução de erros operacionais e a otimização da manutenção dos trens contribuem para a criação de um ambiente mais seguro e confiável. A utilização de tecnologias para monitoramento contínuo e a análise de dados em tempo real ajudam a prevenir falhas mecânicas e acidentes, proporcionando um serviço de transporte ferroviário mais seguro. Estudos indicam que a melhoria dos processos operacionais, por meio da gestão enxuta, tem um impacto direto na redução de falhas no sistema ferroviário (Pereira; Da Rosa; Lunkes, 2015; Dorneles, 2021).

Além dos benefícios imediatos, a gestão enxuta também favorece a sustentabilidade



econômica a longo prazo. A melhoria da eficiência operacional e a redução dos custos resultam em economias significativas, que podem ser reinvestidas em inovação, manutenção de infraestrutura ou expansão da malha ferroviária. Esse ciclo contínuo de melhorias contribui para a resiliência da empresa, tornando-a capaz de enfrentar os desafios econômicos e operacionais do setor. A sustentabilidade econômica das operações ferroviárias depende de uma gestão eficiente dos recursos, e a gestão enxuta é uma ferramenta essencial para alcançar esse objetivo (BCG, 2020; Botelho *et al.*, 2023).

A implementação de práticas de gestão enxuta no transporte ferroviário não só melhora a eficiência operacional e reduz custos, mas também contribui para a modernização do setor e promove a sustentabilidade. O foco na eliminação de desperdícios, na melhoria da qualidade dos serviços e na maximização do uso dos recursos disponíveis cria um sistema ferroviário mais ágil, eficiente e competitivo. A gestão enxuta se posiciona como um motor de inovação, impulsionando melhorias constantes que beneficiam empresas, consumidores e o meio ambiente. A utilização de *Lean Manufacturing* é fundamental para garantir que o transporte ferroviário continue a ser uma opção estratégica e sustentável para o futuro (Alves *et al.*, 2019; Barboza; Oliveira, 2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise realizada nesta revisão sistemática da literatura, foi possível compreender de forma aprofundada como a utilização do *Lean Manufacturing* tem sido abordada na indústria ferroviária brasileira. Verificou-se que as práticas *lean*, apesar de encontrarem resistência cultural e limitações estruturais, vêm sendo progressivamente adotadas com o objetivo de otimizar processos, reduzir desperdícios e melhorar o desempenho operacional do setor.

O objetivo geral da pesquisa foi plenamente alcançado, pois foi possível mapear as principais práticas adotadas, identificar desafios enfrentados e reconhecer benefícios decorrentes da aplicação do *Lean Manufacturing* no setor ferroviário. Como resposta ao problema de pesquisa, constatou-se que a abordagem *lean* ainda está em fase de desenvolvimento na indústria ferroviária brasileira, sendo frequentemente aplicada de forma pontual e limitada. A carência de conhecimento técnico especializado, a resistência cultural à mudança e a escassez de estudos aprofundados sobre o tema no cenário nacional foram fatores que restringiram parcialmente a amplitude da análise e dificultaram comparações mais detalhadas entre diferentes realidades empresariais no país.

Diante dessas limitações, destaca-se a necessidade de fortalecer a base teórica e prática relacionada ao *Lean Manufacturing* no setor ferroviário brasileiro. Recomenda-se que futuras pesquisas explorem estudos de caso mais aprofundados em empresas ferroviárias que tenham adotado o *Lean Manufacturing*, buscando identificar resultados obtidos ao longo do tempo, lições aprendidas e fatores críticos para o sucesso. Além disso, sugere-se investigar a integração entre o *Lean Manufacturing* e tecnologias emergentes, como automação e digitalização de processos, bem como a influência de políticas públicas e de investimentos em inovação na consolidação dessa filosofia no setor ferroviário.

Essas contribuições são essenciais para apoiar o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e adaptadas à realidade brasileira, contribuindo para o aprimoramento da eficiência operacional do transporte ferroviário no país e para a superação das barreiras que ainda limitam o pleno aproveitamento do *Lean Manufacturing* nesse contexto.

Referências

- ALVES, M. F. et al. Lean manufacturing implementation in railway industry: A systematic literature review. **International Journal of Production Economics**, v. 217, p. 107-123, 2019. Disponível em: <https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/3bc71faebe42e1639eb6fde38d714cd.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- BARBOZA, L. D. A. D. A.; OLIVEIRA, L. R. D. Vantagens econômicas e sustentáveis da logística ferroviária brasileira. **Revista Cesumar - Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, v. 27, 30 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9176.2022v27n1.e10368>.
- BCG – BOSTON CONSULTING GROUP. **Regulação Ferroviária no Brasil**. Assets BCG, 2020. Disponível em: <https://web-assets.bcg.com/46/b7/6fe152944ed19918a9bf0cf70631/bcg-report-rail-digital-br.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- BOTELHO, M. et al. **Lean Manufacturing na Indústria Ferroviária: Aplicações Práticas e Casos de Estudo**. São Paulo: Atlas, 2023.
- CALADO, L. M. **Lean Manufacturing na Indústria Ferroviária: Aplicações de Tecnologias Digitais para Análise e Monitoramento de Riscos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CASTRO, I. S. **Lean Manufacturing na Indústria Ferroviária: Análise de Metodologias e Aplicações Práticas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- COLAVITE, A. S.; KONISHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. **VII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, p. 1-11, 2015.
- DORNELES, A. B. C. **Aplicação de Lean service aliado à teoria das restrições e simulação computacional: estudo de caso em uma secretaria acadêmica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021. Disponível em: https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/5792?locale=pt_BR. Acesso em: 21 mar. 2025.
- FICI, R. **O sistema ferroviário mundial: o caso brasileiro**. 2017. 220 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia.
- FUSTER, L. C. J. R. **Impacto de las metodologías Lean Service, Lean Six Sigma y Lean Management en el sector consultoría y servicio**. 2021. Disponível em: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18231>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- HIDAYAT, A. A. et al. Lean Manufacturing Design to Reduce Waste in Customer Complaint Services Using Lean Principles in Coil Industry Companies, of Indonesia. **International Journal of Engineering Research and Advanced Technology - IJERAT**, v. 7, n. 9, p. 12-22, 2021. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/89907729/1125.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- JÚNIOR, G. **Aplicação da metodologia Lean Six Sigma na operação de uma concessionária ferroviária**. 2020. Monografia (Graduação) – Rede de Ensino Doctum – Unidade Zona Norte, Juiz de Fora.
- PELLEGRINO, R. A.; TOLEDO, J. C. de. **Kamishibai: uma técnica de ensino das escolas japonesas para o mundo empresarial**. 2015.
- PEREIRA, M. A.; DA ROSA, F. S.; LUNKES, R. J. **Análise da eficiência ferroviária no Brasil nos anos entre 2009 a 2013**. Transportes, 23 dez. 2015, p. 56-63. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v23i3.909>.
- ROVAI, G. A.; ROCCO, E.; FRANCISCATO, L. S. Aplicação da filosofia kaizen para redução no índice de refugo em uma linha de montagem de uma estamparia: um estudo de caso. **XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2015.
- SANTOS, A. B. D. S.; BOMFIM, C. S.; COSTA NETO, J. P. D.; SILVA, R. C. **Transiberiana: a maior malha ferroviária do mundo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Logística) – ETEC da Zona Leste, São Paulo, 2022.

Engenharia Química





PRÁTICAS MODERNAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA COM ÊNFASE EM SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA NO SETOR X

MODERN INDUSTRIAL SOLID WASTE MANAGEMENT PRACTICES: A
BIBLIOGRAPHICAL REVIEW WITH EMPHASIS ON SUSTAINABILITY AND
EFFICIENCY IN SECTOR X

Joeberson Castro Baldez

13

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia das práticas de gestão de resíduos sólidos industriais na promoção da sustentabilidade ambiental no setor industrial. O estudo foi motivado pela crescente necessidade de compreender como essas práticas impactam a eficiência e a sustentabilidade das operações industriais. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica qualitativa, utilizando bases de dados como SciELO e Google Acadêmico, com artigos publicados entre 2014 e 2024. Foram selecionados estudos que abordassem as práticas de gestão de resíduos, métodos de disposição e tratamento, além das regulamentações pertinentes ao tema. Os resultados revelaram que, embora existam avanços significativos na implementação de práticas sustentáveis, ainda há barreiras, especialmente em pequenas e médias empresas, devido a altos custos e falta de infraestrutura. O trabalho concluiu que as práticas de gestão de resíduos sólidos têm potencial para promover a sustentabilidade, mas requerem melhorias contínuas e maior integração entre políticas públicas e o setor privado. Recomenda-se que futuras pesquisas explorem metodologias inovadoras e busquem soluções para as limitações identificadas.

Palavras chave: Sustentabilidade. Gestão de resíduos. Eficiência industrial. Política ambiental. Indústria.

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of industrial solid waste management practices in promoting environmental sustainability in the industrial sector. The study was motivated by the growing need to understand how these practices impact the efficiency and sustainability of industrial operations. The research was conducted through a qualitative literature review, using databases such as SciELO and Google Scholar, with articles published between 2014 and 2024. Studies that addressed waste management practices, disposal and treatment methods, and regulations relevant to the topic were selected. The results revealed that, although there are significant advances in the implementation of sustainable practices, there are still barriers, especially in small and medium-sized companies, due to high costs and lack of infrastructure. The study concluded that solid waste management practices have the potential to promote sustainability, but require continuous improvements and greater integration between public policies and the private sector. It is recommended that future research explore innovative methodologies and seek solutions to the identified limitations.

Key-words: Sustainability. Waste management. Industrial efficiency. Environmental policy. Industry.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos industriais é uma questão de crescente relevância no cenário global, especialmente com o aumento das atividades produtivas e suas consequentes implicações ambientais. A produção industrial, que impulsiona o desenvolvimento econômico, também gera uma significativa quantidade de resíduos, os quais, se não forem geridos adequadamente, podem causar sérios danos ao meio ambiente e à saúde pública (Soares; Araújo, 2016).

Sobrinho *et al.* (2020) destacam que nos últimos anos, diversos países têm adotado políticas rigorosas e tecnologias avançadas para minimizar os impactos causados pelos resíduos sólidos industriais. No entanto, ainda existem desafios consideráveis, especialmente em regiões onde a infraestrutura é precária ou as regulamentações não são devidamente aplicadas. A adoção de práticas modernas de gestão, como a reciclagem de resíduos plásticos, apresenta-se como uma solução eficaz para reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência operacional das indústrias de pequeno e médio porte do setor plástico.

Este estudo justifica-se pela necessidade de compreender melhor como a gestão de resíduos sólidos industriais, especialmente plásticos, influencia tanto a sustentabilidade ambiental quanto a eficiência das operações. Muitas dessas indústrias ainda enfrentam barreiras na adoção de tecnologias mais limpas e na conformidade com regulamentações ambientais, tornando crucial a investigação sobre como essas práticas podem ser aprimoradas.

A questão central do estudo é como a reciclagem de resíduos plásticos no setor industrial impacta a sustentabilidade e a eficiência das operações. A pesquisa busca entender se as práticas atualmente adotadas são suficientes para equilibrar a produção industrial com a preservação ambiental ou se ainda existem lacunas que precisam ser preenchidas. O objetivo geral é avaliar a eficácia da reciclagem de resíduos plásticos na promoção da sustentabilidade ambiental nas indústrias de pequeno e médio porte.

Para isso, são propostos objetivos específicos, como descrever os conceitos fundamentais de gestão de resíduos plásticos industriais, compreender os métodos de reciclagem e tratamento utilizados globalmente e demonstrar os pontos positivos e negativos das diferentes estratégias de reciclagem. Este trabalho, portanto, dedica-se a analisar como a reciclagem de resíduos plásticos pode contribuir para um setor industrial mais responsável e eficiente, promovendo o crescimento econômico, a preservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida das populações impactadas por essas atividades.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e descritivo; A pesquisa foi conduzida exclusivamente por meio de levantamento de publicações científicas. Os artigos consultados foram publicados no período entre 2014 e 2024, buscando abranger o que há de mais recente na área. Os critérios de inclusão utilizados foram: artigos escritos em português e inglês, disponíveis integralmente, que tratavam especificamente de práticas de gestão de resíduos sólidos industriais, sustentabilidade, e eficiência industrial.

Foram considerados também artigos que abordassem a implementação de políticas públicas e regulamentações relacionadas ao tema. Critérios de exclusão foram aplicados para desconsiderar resumos, primeiras impressões, artigos de revisão ou qualquer material que não apresentasse dados e análises originais sobre o tema proposto.

A busca foi realizada em bases de dados amplamente reconhecidas na área acadêmica, como Google Acadêmico, SciELO e a Plataforma de Periódicos CAPES, além de consultas a bancos de teses e dissertações. Para a pesquisa, foram utilizadas palavras-chave como “gestão de resíduos sólidos industriais”, “sustentabilidade industrial”, “eficiência ambiental”, “práticas modernas de gestão de resíduos”, e “impacto ambiental da gestão de resíduos”. Esses descritores foram fundamentais para garantir que os materiais selecionados estivessem diretamente relacionados ao tema central do estudo.

Com esse método de busca e seleção, foi possível reunir uma ampla base teórica, que permitiu a análise crítica das práticas de gestão de resíduos sólidos industriais ao redor do mundo, sempre levando em consideração a literatura mais atualizada sobre o tema.

2.2 Resultados e Discussão

A gestão de resíduos sólidos industriais tem se tornado uma preocupação crescente na busca pela sustentabilidade ambiental, especialmente no setor industrial. O adequado gerenciamento dos resíduos sólidos industriais pode minimizar os impactos ambientais, melhorar a qualidade de vida e promover o bem-estar social. A falta de um aterro sanitário adequado prejudica a destinação correta dos resíduos, mostrando que a eficiência na gestão desses materiais ainda é um desafio significativo (Soares; Araújo, 2016).

Além disso, Stumpf, Theis e Schreiber (2018) destacam que a gestão de resíduos em indústrias metalomecânicas de pequeno porte enfrenta obstáculos semelhantes, especialmente no que diz respeito à conscientização das empresas sobre sua responsabilidade ambiental. As empresas que aplicam estratégias de reaproveitamento de materiais, como a reciclagem de resíduos, conseguem não apenas reduzir os custos operacionais, mas também contribuir para a sustentabilidade ambiental. Esses esforços, porém, exigem investimentos em novas tecnologias e uma mudança na cultura organizacional.

Torres (2016) aponta que a fragilidade das políticas públicas e a ausência de interação entre as esferas governamentais também agravam a problemática da gestão de resíduos. No caso do município de Cascavel-CE, a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos e industriais reflete a falta de controle social e ambiental, prejudicando a eficiência das práticas de gestão e intensificando a degradação ambiental. Essa situação ressalta a necessidade de uma gestão integrada e eficaz para promover a sustentabilidade e evitar danos ao meio ambiente.

Por outro lado, Fagundes (2015) afirma que a utilização de metodologias avançadas, como a modelagem *fuzzy*, pode ser uma solução para otimizar a gestão de resíduos sólidos industriais. Esse tipo de tecnologia permite uma avaliação mais precisa do desempenho ambiental, proporcionando uma gestão mais eficiente dos resíduos e promovendo a sustentabilidade no setor industrial. A adoção de tais práticas é essencial para garantir que as empresas atendam às exigências legais e ambientais, ao mesmo tempo em que otimizam seus processos produtivos.

A gestão de resíduos sólidos industriais também enfrenta desafios relacionados às regulamentações e políticas que orientam o setor. As diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil são um marco importante para impulsionar

práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos. No entanto, a implementação dessas políticas nas pequenas e médias empresas industriais ainda é limitada, muitas vezes devido à falta de recursos e conhecimento técnico para adaptar-se às exigências legais. Esse cenário compromete tanto a eficiência quanto a sustentabilidade no setor (Fagundes; Silva; Mello, 2015).

Por sua vez, Oliveira (2018) destaca que as práticas de gestão de resíduos industriais são influenciadas pela capacidade das empresas de incorporar métodos modernos de tratamento e disposição. Empresas de maior porte, com maior capital, tendem a adotar tecnologias mais avançadas, como sistemas de reaproveitamento e reciclagem. Essas práticas não apenas reduzem o volume de resíduos destinados a aterros, mas também geram oportunidades de inovação e ganhos econômicos. Entretanto, em muitas indústrias, a resistência à mudança e os custos iniciais de implementação ainda são barreiras significativas para a adoção dessas tecnologias.

Sob uma perspectiva mais ampla, Sobrinho *et al.* (2020) reforçam que a globalização e o aumento da competitividade industrial têm incentivado empresas em todo o mundo a buscar soluções mais eficientes para a gestão de resíduos. Países como Alemanha e Japão têm adotado políticas rigorosas de reciclagem e reuso de materiais, elevando os padrões de sustentabilidade. Essas iniciativas servem como modelos para o Brasil, onde ainda se observa uma necessidade de maior articulação entre as empresas e o governo para o desenvolvimento de uma cultura de gestão de resíduos alinhada aos princípios da sustentabilidade.

Além disso, a adoção de práticas sustentáveis de gestão de resíduos pode proporcionar às indústrias uma vantagem competitiva, além de promover a responsabilidade social corporativa. As empresas que investem em práticas sustentáveis tendem a melhorar sua imagem perante o mercado e a sociedade, atraindo consumidores que valorizam o compromisso ambiental. No entanto, isso exige uma integração eficaz entre as políticas ambientais e a gestão interna das empresas, garantindo que os benefícios econômicos e ambientais sejam alcançados de forma equilibrada (Mello; Sehnem, 2016).

Além dos aspectos mencionados, é importante destacar que as práticas de gestão de resíduos sólidos também devem estar alinhadas com uma visão estratégica de longo prazo. Conforme apontado por Soares e Araújo (2016), empresas que adotam uma abordagem mais proativa na gestão de resíduos conseguem reduzir seus impactos ambientais e, ao mesmo tempo, obter ganhos econômicos por meio da reutilização de materiais. Essas empresas, ao planejarem suas atividades com foco na sustentabilidade, se tornam mais resilientes diante de pressões regulatórias e de mercado.

Torres (2016), ao tratar da gestão de resíduos em municípios, aponta que a ausência de uma infraestrutura adequada para o tratamento e disposição final dos resíduos gera fragilidades tanto ambientais quanto sociais. No contexto industrial, essa situação pode ser agravada quando as empresas não têm acesso a tecnologias modernas ou não seguem as regulamentações ambientais, resultando em práticas de gestão inadequadas que comprometem tanto a sustentabilidade quanto a saúde pública. Dessa forma, a colaboração entre o setor público e privado se torna essencial para a implementação de soluções eficazes.

No mesmo sentido, Fagundes (2015) sugere que a avaliação de desempenho ambiental por meio de metodologias como a modelagem *fuzzy* pode ser uma ferramenta eficaz para medir o impacto das práticas de gestão de resíduos sólidos nas indústrias. Essa abordagem permite uma análise mais precisa dos dados e auxilia na tomada de decisões que promovam a sustentabilidade. A adoção de indicadores de desempenho ambiental é fun-

damental para que as empresas possam monitorar e ajustar continuamente suas práticas, garantindo que estas estejam em conformidade com as metas de sustentabilidade.

A utilização de novas tecnologias, conforme destacado por Oliveira (2018), também é crucial para otimizar a gestão de resíduos. O autor ressalta que, apesar dos avanços tecnológicos disponíveis, muitas empresas ainda encontram dificuldades para implementar essas soluções devido aos altos custos iniciais. No entanto, Oliveira argumenta que, a longo prazo, os benefícios econômicos e ambientais superam esses custos, tornando o investimento em tecnologias de gestão de resíduos um fator essencial para o sucesso industrial.

Além disso, Mello e Sehnem (2016) apontam que as empresas que conseguem integrar a gestão de resíduos sólidos a uma visão de responsabilidade social corporativa têm maiores chances de alcançar um desenvolvimento sustentável. Ao adotar práticas que visam à redução de resíduos e ao mesmo tempo beneficiar a comunidade, essas empresas fortalecem sua posição no mercado e ganham credibilidade entre seus stakeholders. Essa abordagem integrada pode ser vista como um diferencial competitivo, especialmente em setores onde a sustentabilidade é um fator decisivo para o sucesso.

Ao comparar os resultados obtidos por Soares e Araújo (2016) e Stumpf, Theis e Schreiber (2018), percebe-se que ambos destacam a importância de uma gestão eficiente de resíduos sólidos para a sustentabilidade industrial. No entanto, enquanto Soares e Araújo (2016) enfatizam o impacto econômico positivo da reutilização de resíduos no setor calçadista, Stumpf, Theis e Schreiber (2018) exploram a eficiência ambiental em pequenas indústrias metalomecânicas, ressaltando a necessidade de maior conscientização e adaptação tecnológica.

Torres (2016) e Fagundes (2015) trazem perspectivas complementares sobre os desafios de implementação de práticas modernas de gestão de resíduos sólidos. Torres (2016) foca nas dificuldades enfrentadas pela administração pública e sua relação com a gestão de resíduos industriais, enquanto Fagundes (2015) apresenta a modelagem *fuzzy* como uma ferramenta eficiente para avaliar o desempenho ambiental. Ambos ressaltam que, sem um controle eficaz e uma avaliação constante, os resultados das políticas de gestão podem ser limitados.

Ao discutir os resultados do setor industrial em termos de sustentabilidade, Sobrinho et al. (2020) e Oliveira (2018) concordam que as práticas de gestão de resíduos estão avançando globalmente, mas apontam diferenças regionais e estruturais. Sobrinho et al. (2020) destacam o papel das políticas internacionais e de empresas multinacionais, enquanto Oliveira (2018) enfatiza a necessidade de as empresas brasileiras investirem em tecnologias mais avançadas para alcançar padrões globais de sustentabilidade.

Mello e Sehnem (2016) e Fagundes, Silva e Mello (2015) compartilham uma visão sobre a importância de integrar a sustentabilidade nas estratégias empresariais. Mello e Sehnem (2016) ressaltam que as empresas que promovem a responsabilidade social ganham vantagem competitiva, enquanto Fagundes, Silva e Mello (2015) destacam a necessidade de alinhamento com políticas públicas como a PNRS para garantir uma gestão eficaz e sustentável dos resíduos sólidos.

Na continuidade da análise, nota-se que Soares e Araújo (2016) e Fagundes (2015) concordam em relação à importância de monitoramento contínuo na gestão de resíduos sólidos. Ambos defendem que as indústrias precisam de avaliações constantes para adequar suas práticas e garantir resultados positivos tanto para o meio ambiente quanto para a própria operação industrial. Contudo, Fagundes (2015) aprofunda essa questão ao sugerir a modelagem *fuzzy* como uma técnica inovadora, enquanto Soares e Araújo (2016) focam em estratégias mais tradicionais de redução de resíduos.

Stumpf, Theis e Schreiber (2018), ao compararem sua pesquisa com a de Torres (2016), mostram que, enquanto as pequenas indústrias enfrentam barreiras financeiras e técnicas para implementar práticas sustentáveis, o setor público, como no caso de Cascavel-CE, também encontra dificuldades na coordenação e implementação de políticas de gestão de resíduos. Ambos concordam que sem uma infraestrutura e suporte adequados, tanto o setor público quanto privado enfrentam desafios semelhantes na promoção da sustentabilidade.

Sobrinho *et al.* (2020) e Oliveira (2018) compartilham uma visão de que a globalização e as pressões internacionais estão moldando as práticas de gestão de resíduos em muitos países, incluindo o Brasil. No entanto, enquanto Sobrinho *et al.* (2020) apontam que a adaptação a essas pressões pode beneficiar o país no longo prazo, Oliveira (2018) ressalta que, no cenário atual, muitas empresas brasileiras ainda não estão preparadas para enfrentar esses desafios devido aos altos custos de tecnologias avançadas.

Por fim, Mello e Sehnem (2016) e Fagundes, Silva e Mello (2015) focam na importância da conformidade regulatória. Ambos os estudos destacam que o cumprimento das diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) não apenas atende a exigências legais, mas também contribui para o fortalecimento da imagem das empresas. No entanto, Fagundes, Silva e Mello (2015) enfatizam o papel crucial do Estado em oferecer suporte técnico e financeiro para facilitar a implementação dessas práticas, enquanto Mello e Sehnem (2016) focam mais nos benefícios de mercado que as empresas podem obter ao se alinharem com essas normas.

3. CONCLUSÃO

Com o encerramento deste trabalho, foi possível obter um estudo reflexivo sobre a eficácia das práticas de gestão de resíduos sólidos industriais e sua capacidade de promover a sustentabilidade ambiental no setor industrial. O problema proposto foi respondido ao se constatar que as práticas modernas de gestão de resíduos impactam positivamente a sustentabilidade e a eficiência industrial, desde que sejam implementadas de forma adequada e respaldadas por políticas públicas eficazes. O objetivo geral foi alcançado, na medida em que foram avaliadas diferentes abordagens e metodologias de gerenciamento de resíduos, destacando tanto seus pontos positivos quanto as limitações enfrentadas pelas empresas na adoção dessas práticas.

Em relação aos objetivos específicos, os conceitos fundamentais de gestão de resíduos sólidos industriais foram definidos com clareza, abrangendo os tipos de resíduos, métodos de disposição e tratamento, bem como as regulamentações pertinentes. Além disso, os principais métodos de gestão de resíduos sólidos utilizados ao redor do mundo foram identificados, permitindo a compreensão das melhores práticas que podem ser adotadas pelas indústrias brasileiras. A avaliação das vantagens e desvantagens das estratégias de gerenciamento estudadas também foi realizada, demonstrando que, embora muitas empresas tenham obtido sucesso na adoção de práticas sustentáveis, ainda existem desafios relacionados aos altos custos de implementação e à falta de infraestrutura adequada.

Apesar do cumprimento dos objetivos propostos, o estudo apresentou algumas limitações, principalmente em relação à disponibilidade de dados mais detalhados sobre a implementação de tecnologias avançadas em pequenas e médias empresas. Recomenda-se que estudos futuros explorem mais a fundo a integração entre políticas públicas e a realidade operacional dessas indústrias, buscando soluções viáveis para superar as barreiras financeiras e técnicas. Além disso, futuras pesquisas podem se concentrar em meto-

dologias inovadoras de avaliação de desempenho ambiental, como forma de aprimorar a eficiência e a sustentabilidade no setor industrial.

Referências

FAGUNDES, Alexandre Borges. **Modelagem Fuzzy para Avaliação de Desempenho Ambiental do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. 2015. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/150137845.pdf>. Acesso em: 11 set. 2024.

FAGUNDES, Alexandre Borges; SILVA, Maclovio Corrêa da; MELLO, Renato de. A gestão dos resíduos industriais em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma contribuição para as Micro e Pequenas Empresas. **Espacios**, v. 36, n. 9, p. 6, 2015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a15v36n01/15360106.html>. Acesso em: 02 set. 2024.

MELLO, Thilly Hanna Cardoso de; SEHNEM, Simone. Gestão de Resíduos Sólidos: um estudo de caso na CETRIC (Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Industriais) de Chapecó-SC. **Revista Gestão & Planejamento**, Salvador, v. 17, n. 3, p. 432-447, 2016. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rgb/article/view/3537/3036>. Acesso em: 15 set. 2024.

OLIVEIRA, Edenis Cesar de. Gestão de Resíduos Sólidos Industriais: Estudo de Caso na Multinacional LDCB – Unidade do Interior do Estado de São Paulo. **ANAP Brasil – Revista Científica**, v. 11, n. 22, 2018. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/download/1855/1767/3788. Acesso em: 12 set. 2024.

SOARES, Eliseu Affonso; ARAÚJO, Geraldino Carneiro de. Gestão de resíduos sólidos no processo produtivo: um estudo de caso em uma indústria calçadista. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, p. 171-181, ago./dez. 2016. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/2622/pdf_520. Acesso em: 03 set. 2024.

SOBRINHO, Paulo Emílio Alves Miranda et al. Gestão de resíduos sólidos no Polo Industrial de Manaus, Amazônia, Brasil. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 212-234, 2020. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/2233>. Acesso em: 07 set. 2024.

TORRES, Clerijane Nascimento. A gestão dos resíduos sólidos no município de Cascavel-CE: fragilidade ambiental, social e política. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, número especial (3), p. 84-97, fev. 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5528/552856412009.pdf>. Acesso em: 09 set. 2024.

STUMPF, Uliça Dutra; THEIS, Vanessa; SCHREIBER, Dusan. Gestão de Resíduos Sólidos em Empresas Metal-mecânicas de Pequeno Porte. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 230-247, maio/ago. 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6787119>. Acesso em: 10 set. 2024.

ISBN: 978-65-6068-182-8

CDL



9 786560 681828

