



A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada: evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais

Alencastro Ferreira de Alencar Junior¹, Gabriel de Andrade Ribeiro Alencar²



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p3795-3834>

Artigo recebido em 27 de Julho e publicado em 27 de Setembro de 2025

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo investigar a influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada, considerando os impactos sobre desempenho, sustentabilidade e competitividade das cadeias de suprimentos. A partir da análise de 15 estudos científicos publicados nos últimos cinco anos, foram identificadas evidências consistentes de que a adoção de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial e sistemas ciberfísicos tem promovido melhorias significativas nos processos logísticos, reduzindo custos, ampliando a visibilidade operacional e aprimorando a capacidade de resposta a variabilidades do mercado. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão sistemática da literatura, considerando estudos nacionais e internacionais extraídos de bases como MDPI, Elsevier, SciELO e LILACS. Os resultados apontam que a eficiência logística está diretamente associada ao nível de maturidade digital das empresas, à integração entre os elos da cadeia e à existência de estratégias colaborativas baseadas em dados. A discussão evidencia, ainda, a importância da capacitação técnica, da governança orientada por indicadores digitais e do apoio institucional à inovação para a superação de barreiras à transformação digital, sobretudo em pequenas e médias empresas. Como conclusão, destaca-se que as tecnologias da Indústria 4.0 configuram um vetor de transformação essencial para o futuro da logística integrada, exigindo uma abordagem sistêmica e interdisciplinar para sua implementação eficaz e equitativa em diferentes contextos produtivos. Este estudo foi conduzido no contexto de um programa de pesquisa liderado pelos autores, refletindo sua liderança técnica e intelectual na concepção, análise e interpretação dos dados. As contribuições diretas incluíram a seleção criteriosa, análise e sistematização crítica das evidências, com ênfase na aplicação prática em contextos produtivos reais. O trabalho oferece metodologias adaptáveis tanto a cadeias logísticas emergentes quanto



a sistemas maduros, como os encontrados nos Estados Unidos, evidenciando seu potencial para atender a demandas logísticas de relevância global.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Logística Integrada. Eficiência de Cadeia de Suprimentos. Transformação

The influence of Industry 4.0 technologies on the efficiency of integrated logistics: applied evidence and strategic opportunities for global supply chains

ABSTRACT

This article aims to investigate the influence of Industry 4.0 technologies on the efficiency of integrated logistics, considering their impacts on supply chain performance, sustainability, and competitiveness. Based on an analysis of 15 scientific studies published over the past five years, consistent evidence was identified that the adoption of technologies such as the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence, and cyber-physical systems has led to significant improvements in logistics processes, reducing costs, increasing operational visibility, and enhancing responsiveness to market variability. The research was developed through a systematic literature review, considering national and international studies extracted from databases such as MDPI, Elsevier, SciELO, and LILACS. The results indicate that logistics efficiency is directly associated with companies' level of digital maturity, the integration between the links in the chain, and the existence of data-driven collaborative strategies. The discussion also highlights the importance of technical training, governance guided by digital indicators, and institutional support for innovation in overcoming barriers to digital transformation, especially in small and medium-sized enterprises. In conclusion, it is emphasized that Industry 4.0 technologies represent an essential vector of transformation for the future of integrated logistics, requiring a systemic and interdisciplinary approach for their effective and equitable implementation in different production contexts. This study was conducted within the context of a research program led by the authors, reflecting their technical and intellectual leadership in the design, analysis, and interpretation of the data. Direct contributions included the careful selection, analysis, and critical systematization of the evidence, with an emphasis on practical application in real production contexts. The work offers methodologies adaptable to both emerging logistics chains and mature systems, such as those found in the United States, demonstrating their potential to meet globally relevant logistics demands.

Keywords: Industry 4.0. Integrated Logistics. Supply Chain Efficiency. Transformation



1 Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Candido Mendes e-mail:
alencastro.junior@gmail.com

2 MBA em Controladoria, Estratégia Financeira e Fiscal da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e-mail: alencar.gabriel0190@edu.pucrs.br

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

A evolução da indústria contemporânea tem sido marcada por transformações profundas provocadas pelo advento da chamada Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial. Este novo paradigma produtivo integra tecnologias avançadas como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data, sistemas ciberfísicos e computação em nuvem às atividades industriais e logísticas, estabelecendo um novo padrão de conectividade, automação e tomada de decisão baseada em dados (Rodrigues, 2024). Diferentemente das revoluções anteriores, a Indústria 4.0 não está centrada apenas na mecanização ou automação, mas na interconexão inteligente e em tempo real entre máquinas, processos e pessoas. Este cenário tem exigido das empresas uma reconfiguração sistêmica, com foco em agilidade, personalização em larga escala e integração digital das cadeias de suprimentos (Qureshi et al., 2024).

Nesse contexto, a logística integrada se tornou uma das áreas mais diretamente impactadas, visto que atua como elo fundamental entre os diferentes atores da cadeia produtiva e de distribuição. O uso de tecnologias digitais possibilita a gestão sincronizada de fluxos físicos e informacionais, promovendo maior rastreabilidade, eficiência operacional, redução de desperdícios e otimização de recursos (Tubis; Grzybowska, 2022). As organizações têm adotado soluções como sensores inteligentes, automação de armazéns, plataformas em nuvem e sistemas analíticos avançados para monitorar, prever e responder a variações da demanda em tempo real. Com isso, a Indústria 4.0 emerge como vetor estratégico na busca por excelência logística, sendo cada vez mais reconhecida como diferencial competitivo para empresas inseridas em mercados globalizados e voláteis (Silva Junior, 2021). No caso dos Estados Unidos, onde logística e transporte representa parcela relevante do PIB e sustentam cadeias críticas de abastecimento interno e exportação, as tecnologias analisadas neste estudo demonstram potencial direto para ganhos em eficiência, resiliência e competitividade, alinhando-se a prioridades nacionais de modernização e integração logística.



Apesar das inúmeras promessas tecnológicas associadas à Indústria 4.0, sua adoção prática ainda enfrenta desafios significativos, sobretudo em países em desenvolvimento. Fatores como infraestrutura limitada, ausência de políticas públicas eficazes, resistência cultural à mudança e carência de mão de obra qualificada dificultam a transição para modelos produtivos mais integrados e digitais (Rodrigues, 2024). Além disso, embora o discurso da digitalização esteja amplamente disseminado, muitas pequenas e médias empresas, que representam a maior parte do tecido produtivo de diversas economias, ainda encontram obstáculos substanciais para implementar ferramentas de Logística 4.0 em seus processos (Tubis; Grzybowska, 2022). Nesse cenário, a lacuna entre o potencial transformador da tecnologia e sua efetiva implementação torna-se um campo fértil para análise, principalmente no que diz respeito à eficiência logística e à sustentabilidade operacional.

Diante dessa realidade, torna-se crucial compreender de que forma as tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo aplicadas nos sistemas logísticos contemporâneos e quais impactos concretos elas têm gerado em termos de desempenho, agilidade, confiabilidade e competitividade. A literatura recente aponta para uma associação direta entre o uso de soluções como analytics, IoT, inteligência artificial e sistemas de automação com a melhoria de indicadores logísticos, tais como tempo de entrega, acuracidade de estoques, utilização de capacidade e resposta ao cliente (Abdallah et al., 2025). Assim, este trabalho propõe uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de analisar criticamente como a Indústria 4.0 tem influenciado a eficiência da logística integrada, reunindo evidências empíricas e conceituais para embasar a discussão sobre o futuro dos sistemas logísticos em um cenário de transformação digital contínua (Vazquez et al., 2024).

Este artigo resulta de um esforço de pesquisa conduzido pelos autores para consolidar e sistematizar o estado da arte em tecnologias aplicadas à logística integrada, com foco em sua adaptabilidade a diferentes realidades econômicas e regulatórias. A abordagem adotada foi desenvolvida de forma independente, garantindo que a seleção, categorização e interpretação crítica dos dados fossem conduzidas diretamente pelos autores.



1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A transformação digital impulsionada pelas tecnologias da Indústria 4.0 tem reformulado de forma acelerada os processos produtivos e os sistemas logísticos em escala global. No entanto, embora os benefícios potenciais sejam amplamente reconhecidos, ainda persiste uma lacuna entre a teoria e a prática no que se refere à real capacidade das organizações de incorporar tais inovações de maneira eficiente, especialmente no contexto da logística integrada. Essa dificuldade é agravada pela ausência de padronizações, pelos altos custos de implementação e pela disparidade tecnológica entre grandes corporações e pequenas e médias empresas, que frequentemente enfrentam restrições operacionais e estruturais (Reis; Scoton, 2023). Nesse sentido, o problema central desta pesquisa reside em compreender: como as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 influenciam de forma concreta a eficiência da logística integrada, considerando diferentes cenários produtivos, limitações operacionais e níveis de maturidade digital? A resposta a essa questão é fundamental para delinear diretrizes estratégicas que auxiliem empresas e formuladores de políticas a superar os obstáculos à adoção tecnológica e explorar de maneira plena os ganhos operacionais e sistêmicos associados à nova revolução industrial.

1.2 CONSTRUÇÃO DE HIPÓTESES OU QUESTÕES DE PESQUISA

Com base na análise preliminar da literatura e na formulação do problema, é possível construir questionamentos centrais que norteiam esta investigação. A literatura aponta que, embora as tecnologias da Indústria 4.0 estejam disponíveis e apresentem elevado potencial transformador, a relação direta entre sua aplicação e a melhoria da eficiência logística ainda carece de maior aprofundamento empírico e comparativo (Mahdavisarif et al., 2022). Nesse sentido, busca-se investigar os fatores que determinam o sucesso ou a limitação da implementação tecnológica no setor logístico, bem como as variações observadas entre diferentes portes e segmentos empresariais.



Dessa forma, a questão de pesquisa principal que orienta este estudo é: “De que forma as tecnologias da Indústria 4.0 influenciam a eficiência da logística integrada, considerando contextos distintos de maturidade digital, estrutura organizacional e capacidade de investimento?”

A partir desse eixo central, emergem hipóteses específicas que poderão ser discutidas ao longo do estudo:

-H1: A adoção de tecnologias da Indústria 4.0 está positivamente correlacionada com a redução de custos operacionais na logística.

-H2: Empresas com maior maturidade digital conseguem obter maior retorno logístico com menor tempo de implementação.

-H3: Barreiras estruturais e culturais dificultam a plena integração das tecnologias 4.0 nos sistemas logísticos das pequenas e médias empresas.

-H4: A combinação de tecnologias (IoT, big data, IA) gera sinergias superiores às aplicações isoladas.

Essas hipóteses permitirão explorar o tema sob diferentes abordagens, possibilitando uma análise crítica e abrangente dos impactos e desafios da Indústria 4.0 na logística moderna.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar de forma crítica e sistematizada como as tecnologias da Indústria 4.0 influenciam a eficiência da logística integrada, com ênfase em aspectos como redução de custos, melhoria de processos, agilidade operacional e integração sistêmica, considerando diferentes níveis de maturidade digital, porte organizacional e setores produtivos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar, a partir da literatura recente, quais tecnologias da Indústria 4.0 são mais utilizadas na área logística e como elas estão sendo aplicadas em



contextos reais;

- Avaliar os principais ganhos operacionais e estratégicos obtidos com a digitalização de processos logísticos, com base em evidências empíricas;
- Identificar os desafios e barreiras enfrentados pelas organizações na adoção de soluções integradas de Logística 4.0;
- Comparar os impactos das tecnologias em diferentes portes empresariais, com atenção especial às pequenas e médias empresas;
- Sistematizar os fatores críticos de sucesso para a implementação eficiente de tecnologias digitais na cadeia logística, visando orientar futuras estratégias de adoção.

1.4 JUSTIFICATIVAS

A crescente complexidade dos mercados globais, aliada à demanda por maior competitividade, eficiência e sustentabilidade, tem intensificado a busca por soluções logísticas mais integradas e inteligentes. Nesse cenário, as tecnologias da Indústria 4.0 surgem como catalisadoras de transformações profundas nos processos logísticos, promovendo maior conectividade, automação e tomada de decisão baseada em dados em tempo real (Tubis; Grzybowska, 2022). No entanto, a incorporação efetiva dessas tecnologias ainda representa um desafio para grande parte das organizações, especialmente em economias emergentes, onde persistem barreiras estruturais e tecnológicas (Rodrigues, 2024). A relevância deste estudo, portanto, reside na necessidade de sistematizar o conhecimento atual sobre os impactos dessas tecnologias na eficiência logística e de mapear caminhos que permitam sua adoção de forma estratégica e sustentável.

Do ponto de vista acadêmico, esta pesquisa contribui para o avanço do debate sobre a integração entre tecnologia e logística, propondo uma análise estruturada e crítica da



literatura recente, com foco nos resultados concretos obtidos pelas empresas que já implementaram soluções da Indústria 4.0. Do ponto de vista prático, os resultados poderão subsidiar gestores e tomadores de decisão no planejamento e implementação de projetos de transformação digital voltados à logística, oferecendo diretrizes para superar os principais obstáculos e otimizar os investimentos. Além disso, a sistematização dos fatores de sucesso e insucesso pode favorecer a formulação de políticas públicas e programas de incentivo que ampliem o acesso às tecnologias avançadas por empresas de menor porte, promovendo maior equidade tecnológica e sustentabilidade operacional no setor. Em especial, os resultados alinham-se diretamente com programas estratégicos dos Estados Unidos voltados à automação portuária, transporte inteligente e integração digital de corredores multimodais, reforçando a contribuição do presente estudo não apenas para o avanço acadêmico, mas também para a formulação de políticas e soluções aplicáveis ao contexto logístico norte-americano. Ao mesmo tempo em que contribuem para a competitividade logística no Brasil, esses achados apresentam aplicabilidade direta em hubs intermodais e rotas interestaduais dos Estados Unidos, reforçando objetivos nacionais de redução de custos operacionais e fortalecimento da resiliência das cadeias de suprimento.

1.6 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, estruturados de forma a proporcionar uma compreensão progressiva e aprofundada do tema proposto. No Capítulo 1 – Introdução, são apresentados o contexto da pesquisa, a formulação do problema, as hipóteses investigativas, os objetivos geral e específicos, as justificativas para a realização do estudo, suas limitações e a descrição da estrutura adotada.

O Capítulo 2 – Procedimentos Metodológicos descreve os fundamentos da metodologia científica aplicada, os tipos de pesquisa empregados, as bases de dados consultadas, os critérios de seleção e exclusão dos artigos analisados, os processos de coleta e tratamento dos dados, garantindo a transparência e a reprodutibilidade da investigação.



No Capítulo 3 – Análise e Interpretação dos Dados, apresenta-se o conjunto dos resultados extraídos dos artigos selecionados, sistematizados em forma descritiva e interpretativa, destacando os principais achados sobre o uso das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da logística integrada. Já o Capítulo 4 – Discussão, promove uma análise crítica dos dados apresentados, comparando os resultados entre si, identificando convergências e divergências, e discutindo os principais impactos e desafios relacionados à implementação tecnológica.

Por fim, o Capítulo 5 – Considerações Finais retoma os principais pontos discutidos ao longo do trabalho, oferecendo um panorama consolidado das conclusões, além de apresentar recomendações práticas e sugestões para futuras pesquisas. O texto é complementado por apêndices, que incluem os critérios documentais de seleção e a organização temática da análise, e pelas referências utilizadas, conforme as normas da ABNT.

CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 CONCEITO DE METODOLOGIA

A metodologia científica consiste no conjunto de procedimentos sistemáticos e lógicos empregados para garantir a produção de um conhecimento válido, confiável e reproduzível. No âmbito da engenharia, especialmente em estudos voltados à análise de tecnologias emergentes como a Indústria 4.0, a escolha metodológica é fundamental para assegurar rigor técnico e embasamento teórico na interpretação dos dados. A metodologia adotada neste trabalho foi estruturada com base nos princípios da revisão sistemática da literatura, que permite identificar, avaliar e sintetizar de forma criteriosa os resultados de múltiplos estudos já publicados sobre determinado fenômeno. Tal abordagem favorece a compreensão das principais tendências, evidências e lacunas do conhecimento, conferindo robustez à análise.

As decisões metodológicas adotadas foram estabelecidas diretamente pelos autores, que definiram os critérios de seleção, classificação e interpretação dos estudos analisados. Essa atuação permitiu identificar padrões de aplicação tecnológica ainda não



consolidados pela literatura, estabelecendo um diferencial autoral relevante na condução da revisão. A ênfase dada à aplicabilidade prática das evidências reflete a experiência profissional dos autores no setor logístico, reforçando a conexão entre a dimensão científica e a operacional.

A concepção metodológica foi delineada pelos autores a partir de sua experiência prática no setor logístico e de transporte, aliada a competências acadêmicas na avaliação de tecnologias emergentes. Essa combinação resultou em um protocolo de revisão que prioriza a robustez científica e, simultaneamente, a aplicabilidade dos resultados em operações logísticas reais, tanto no Brasil quanto em mercados internacionais.

A revisão sistemática diferencia-se de outras formas de revisão por seguir uma lógica explícita, planejada e replicável, baseada em critérios bem definidos de busca, seleção, extração e análise de dados. Essa opção metodológica se justifica pela complexidade do tema em questão — a influência das tecnologias da Indústria 4.0 na logística integrada — que exige um mapeamento rigoroso da produção científica recente para compor um panorama crítico e fundamentado. Dessa forma, o estudo adota um protocolo metodológico que busca minimizar vieses, aumentar a transparência e garantir a qualidade dos resultados obtidos.

2.2 TIPOS DE PESQUISA

A presente investigação caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois busca gerar conhecimento voltado para a solução de problemas concretos no âmbito da logística integrada por meio da adoção de tecnologias da Indústria 4.0. Ao mesmo tempo, é classificada como uma pesquisa qualitativa e descritiva, pois tem como objetivo analisar, interpretar e compreender, com profundidade, os efeitos, vantagens e limitações da implementação tecnológica nos sistemas logísticos.

A abordagem qualitativa se justifica pela natureza interpretativa da pesquisa, que não se restringe à mensuração estatística, mas prioriza a análise crítica dos dados, a identificação de padrões e a interpretação contextualizada dos achados presentes na literatura científica. Já o caráter descritivo refere-se ao esforço de mapear, sistematizar



e apresentar de forma detalhada os resultados empíricos e conceituais dos estudos analisados, evidenciando como as tecnologias digitais impactam diretamente os processos logísticos.

Adicionalmente, o estudo utiliza o método dedutivo, pois parte de fundamentos teóricos consolidados sobre Indústria 4.0 e logística para investigar como esses conceitos têm sido aplicados em estudos recentes. A combinação dessas abordagens metodológicas possibilita uma análise robusta, crítica e contextualizada sobre a temática, conferindo maior relevância acadêmica e aplicabilidade prática aos resultados obtidos.

2.3 FONTES DE DADOS

As fontes de dados utilizadas neste estudo correspondem a artigos científicos completos publicados entre os anos de 2019 e 2024, oriundos de bases de dados reconhecidas internacionalmente pela relevância e qualidade acadêmica na área de engenharia, logística e inovação tecnológica. Foram consultadas as seguintes plataformas: MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute), Elsevier (ScienceDirect), SciELO (Scientific Electronic Library Online) e LILACS (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde).

Essas bases foram selecionadas com base em sua credibilidade e abrangência temática, possibilitando o acesso a estudos atualizados sobre a aplicação da Indústria 4.0 em contextos logísticos diversos. As publicações foram filtradas a partir de critérios específicos: estar disponível integralmente em formato PDF, ser publicada nos últimos cinco anos, apresentar conteúdo relevante ao escopo do artigo e conter metodologia claramente descrita. Foram incluídos 15 artigos no total, sendo 7 da plataforma MDPI, 4 da Elsevier e 4 das bases SciELO/LILACS.

Todos os artigos utilizados apresentam revisão por pares, conformidade ética e vínculo com instituições acadêmicas ou de pesquisa, assegurando o rigor e a confiabilidade dos dados analisados. As informações extraídas dessas fontes serviram de base para a formulação da revisão sistemática, bem como para as análises desenvolvidas nos capítulos seguintes. Esse processo metodológico permitiu também a



identificação de evidências com aplicabilidade direta em cadeias logísticas norte-americanas, como os corredores intermodais do Midwest e a infraestrutura portuária da Costa Leste, frequentemente apontados como áreas prioritárias de modernização tecnológica.

2.4 SELEÇÃO DA AMOSTRA

A seleção da amostra foi realizada de forma criteriosa, com o objetivo de garantir a relevância, atualidade e qualidade científica dos estudos incluídos na revisão. Inicialmente, foram definidos os descritores utilizados nas buscas, combinando termos como “Industry 4.0”, “integrated logistics”, “supply chain efficiency”, “digital transformation”. A busca foi realizada diretamente nas plataformas MDPI, Elsevier (ScienceDirect), SciELO e LILACS, priorizando artigos publicados entre 2019 e 2024.

Os critérios de inclusão utilizados foram:

- Artigos completos, disponíveis integralmente em formato PDF;
- Publicações revisadas por pares;
- Estudos com foco direto na aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em contextos logísticos;
- Período de publicação entre 2019 e 2024;
- Estudos com abordagem empírica, aplicada ou com revisão estruturada.

Os critérios de exclusão compreenderam:

- Trabalhos duplicados entre bases;
- Artigos com foco exclusivamente conceitual, sem aplicação direta à logística integrada;
- Estudos com metodologia pouco clara ou com dados insuficientes;
- Publicações com linguagem excessivamente técnica e inacessível ao escopo da revisão.

Ao final do processo de triagem, foram selecionados 15 artigos científicos que atendem integralmente aos critérios definidos. Essa amostra representa diferentes realidades



organizacionais, setoriais e geográficas, permitindo uma visão ampla e diversificada dos impactos da Indústria 4.0 na logística integrada.

2.5 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi conduzida manualmente por meio da leitura sistemática e minuciosa dos artigos selecionados. Cada artigo foi examinado integralmente, com ênfase especial nas seções de introdução, revisão teórica, metodologia, resultados e discussão. As informações extraídas foram registradas em planilhas estruturadas contendo os seguintes campos: título, autores, ano, país, revista, tipo de estudo, objetivo, metodologia empregada, tecnologias abordadas, resultados obtidos e conclusões principais.

Este processo permitiu a construção de um banco de dados padronizado que facilitou a comparação entre os estudos e a identificação de padrões, convergências e divergências nos achados. Também foi realizada uma categorização dos artigos conforme os tipos de tecnologias analisadas (como IoT, inteligência artificial, big data, sistemas ciberfísicos, entre outras) e seus efeitos sobre os principais indicadores logísticos, tais como tempo de resposta, redução de custos, rastreabilidade, integração de processos e automação de tarefas.

O uso de ferramentas auxiliares, como gerenciadores de referências (Zotero), softwares de leitura em PDF e marcação de trechos (como Mendeley e Foxit Reader), contribuiu para a sistematização e organização dos dados. A etapa de coleta foi finalizada após a dupla conferência dos registros, garantindo a fidelidade da extração e minimizando a possibilidade de omissões ou erros.

2.6 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados coletados foram tratados por meio de uma análise qualitativa e interpretativa, orientada pela técnica de análise de conteúdo temática. Inicialmente, os dados extraídos foram organizados em categorias previamente definidas, com base nos principais eixos temáticos da pesquisa: tipos de tecnologias empregadas da Indústria 4.0, impactos sobre a logística integrada, resultados operacionais e estratégicos, e



barreiras ou limitações identificadas nos estudos. A categorização permitiu agrupar os achados de forma lógica e coerente, facilitando a construção de inferências e comparações críticas.

Posteriormente, foi realizada a codificação dos conteúdos relevantes, com destaque para as relações entre os conceitos centrais e os efeitos documentados pelas pesquisas. As informações foram processadas manualmente, sem o uso de software estatístico, devido à natureza qualitativa da abordagem. A análise procurou identificar padrões recorrentes, inovações disruptivas, lacunas no conhecimento e desvios relevantes que contribuíssem para a resposta à pergunta norteadora do estudo.

Além disso, foi realizada uma triangulação entre os resultados dos diferentes artigos, comparando os achados segundo a origem geográfica, setor de aplicação, maturidade tecnológica e metodologia utilizada. Essa triangulação buscou aumentar a confiabilidade da análise e oferecer uma visão crítica e integradora dos efeitos da Indústria 4.0 na logística. Os dados tratados constituem a base do Capítulo 3 (Apresentação e Análise dos Resultados) e do Capítulo 4 (Discussão), permitindo reflexões fundamentadas e alinhadas às tendências atuais da engenharia de produção e da transformação digital.

2.7 PROTOCOLO DE REVISÃO (PRISMA 2020)

O presente estudo foi conduzido em conformidade com as diretrizes do PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), referência internacional para a elaboração de revisões sistemáticas. A adoção desse protocolo teve como objetivo garantir maior clareza, rigor e transparência em todas as etapas do processo de seleção dos estudos.

A aplicação do PRISMA possibilitou detalhar de forma estruturada o caminho metodológico percorrido: inicialmente foram identificados os registros nas bases de dados selecionadas, seguidos da remoção de duplicados e da triagem dos títulos e resumos. Na sequência, os artigos potencialmente relevantes foram avaliados em sua íntegra, resultando na exclusão daqueles que não atendiam aos critérios de elegibilidade previamente definidos, e, finalmente, na inclusão dos estudos que compuseram a amostra final.



Esse procedimento contribuiu para reduzir vieses de seleção, assegurou a rastreabilidade das escolhas realizadas e favoreceu a reprodutibilidade da pesquisa, uma vez que torna explícitos os critérios adotados em cada fase. O fluxograma correspondente, apresentado no Apêndice C (Figura C1), resume graficamente o processo de triagem, destacando o número de registros analisados em cada etapa e os principais motivos de exclusão.

Dessa forma, a utilização do PRISMA 2020 reforça a consistência metodológica desta revisão e sustenta a confiabilidade dos resultados obtidos, em alinhamento com as boas práticas científicas recomendadas para pesquisas na área de logística e Indústria 4.0.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Os artigos escolhidos para a composição desta revisão foram categorizados da seguinte forma: Título da Publicação, Autor, Periódico (incluindo Volume, Número e Página, quando disponíveis), Ano e País de Publicação, bem como uma síntese abrangente da Metodologia e dos Resultados do Trabalho. Esses elementos foram cuidadosamente dispostos na Tabela 2, a fim de proporcionar uma estrutura ordenada e clara.

Os critérios de síntese e avaliação dos artigos foram estabelecidos com base em situações recorrentes observadas pelos autores na prática empresarial e acadêmica, o que garantiu maior alinhamento entre a teoria selecionada e os desafios enfrentados por organizações em contextos reais de transformação digital.



TABELA 2: Principais informações dos artigos selecionados para a escrita da revisão.

Título da Publicação	Autor	Periódico (Volume, número,página)	Ano e País de publicação (cidade se disponível)	Metodologia e Resultados do Trabalho
Título original: Investigating the Integration of Industry 4.0 and Lean Principles on Supply Chain Sustainability Tradução: Investigando a Integração da Indústria 4.0 e Princípios Lean na Sustentabilidade da Cadeia de Suprimentos	SINGH, S. et al.	Sustainability, v. 15, n. 2, p. 1200-1217, MDPI.	2023, Índia.	Pesquisa quantitativa com aplicação de survey em 182 empresas de manufatura. Utilizou-se análise fatorial confirmatória e modelagem de equações estruturais. O estudo evidenciou que a integração entre tecnologias da Indústria 4.0 e os princípios enxutos resulta em melhorias significativas nos níveis de sustentabilidade da cadeia de suprimentos. A análise dos dados revelou uma relação positiva entre a digitalização dos processos e a redução de desperdícios operacionais, além da melhoria nos indicadores de tempo de ciclo, consumo energético e produtividade. As empresas que combinam estratégias lean com automação, IoT e análise de dados avançada mostraram um desempenho logístico mais eficiente e adaptável às exigências de mercado. Outro achado relevante refere-se à capacidade de resposta das cadeias de suprimentos: organizações que adotaram tecnologias digitais relataram melhor visibilidade de ponta a ponta, maior precisão nos processos de previsão e agilidade nas decisões. A aplicação simultânea de ferramentas lean e digitais permitiu não apenas ganhos operacionais, mas também um aumento na colaboração interorganizacional, fortalecendo a integração vertical e horizontal. Os resultados reforçam a tese de que a transformação digital alinhada a princípios enxutos é um caminho eficaz para elevar a competitividade e resiliência das cadeias logísticas.
(Título original: Industry 4.0-Enabled Supply Chain Performance: Do Supply Chain Capabilities and External Integration Matter? Tradução: Desempenho da Cadeia de Suprimentos Habilitada pela Indústria 4.0: Capacidades Internas e Integração Externa Importam?	AHMED, M.; ALI, S.; KHAN, S.	Journal of Manufacturing Technology Management, v. 33, n. 5, p. 915–938, Elsevier.	2022, Paquistão.	Estudo quantitativo com dados coletados de 238 empresas industriais. Aplicação de PLS-SEM para análise dos dados. Os dados apontaram que as tecnologias da Indústria 4.0 impactam positivamente o desempenho da cadeia de suprimentos, desde que estejam acompanhadas por capacidades internas de gestão e um alto nível de integração externa com parceiros. Organizações com maior maturidade digital apresentaram melhorias em agilidade, confiabilidade e eficiência na cadeia de suprimentos. Além disso, a integração com fornecedores e clientes intensificou os efeitos positivos das tecnologias aplicadas, como automação, sensores inteligentes e big data. O estudo também constatou que a tecnologia, isoladamente, não garante resultados robustos: empresas com deficiências em capacitação de equipes ou com baixos níveis de colaboração externa obtiveram impactos limitados. Dessa forma, o sucesso da digitalização logística depende da sinergia entre recursos internos e práticas colaborativas externas. A pesquisa reforça que o investimento em tecnologia deve ser acompanhado de desenvolvimento organizacional para



**A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada:
evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais**
Alencar Junior e Alencar, 2025.

				gerar impactos reais na cadeia logística.
Título original: In Search of Industry 4.0 and Logistics 4.0 in Small-Medium Enterprises—A State-of-the-Art Review. Tradução: Em Busca da Indústria 4.0 e Logística 4.0 em Pequenas e Médias Empresas — Uma Revisão de Estado da Arte.	FERNANDEZ, V. et al.	Logistics, v. 5, n. 4, p. 88-104, MDPI.	2021, Espanha.	Revisão sistemática da literatura sobre aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em PMEs logísticas. A revisão identificou que as PMEs enfrentam desafios estruturais para a adoção plena da Indústria 4.0, principalmente em termos de investimento e qualificação. Ainda assim, casos bem-sucedidos demonstraram ganhos em rastreabilidade, monitoramento em tempo real e automatização de processos logísticos com o uso de RFID, sensores e sistemas ERP avançados. Os principais impactos positivos foram a redução de erros manuais e o aumento da confiabilidade nas entregas. Além disso, foi constatado que a percepção de que as PMEs tendem a iniciar a transformação digital por etapas, implementando tecnologias em processos isolados antes de buscar integração total. Embora essa abordagem reduza os riscos financeiros, também limita os resultados de curto prazo. A revisão conclui que estratégias de escalonamento digital e apoio institucional são cruciais para a expansão da Indústria 4.0 nas cadeias logísticas de PMEs.
Título original: A Framework for Sustainable Manufacturing: Integrating Industry 4.0 Technologies and Circular Economy. Tradução: Um Modelo para a Manufatura Sustentável: Integrando Tecnologias da Indústria 4.0 e Economia Circular.	RODRIGUEZ, R. et al.	Sustainability, v. 15, n. 13, p. 10107, 2023.	Sustainability, v. 12, n. 6, p. 2456-2468, MDPI.	Estudo conceitual com validação por estudo de caso em empresas de manufatura sustentável. O estudo evidenciou que a integração das tecnologias da Indústria 4.0 com princípios da economia circular potencializa significativamente a sustentabilidade logística. Tecnologias como big data analytics, Internet das Coisas e impressão 3D foram destacadas como catalisadoras de processos logísticos mais enxutos, com menores perdas de materiais e maior rastreabilidade. As empresas que aplicaram esse modelo relataram redução de custos e aumento da eficiência energética em suas operações logísticas. Adicionalmente, os dados mostraram que a combinação entre digitalização e economia circular contribui para maior controle de estoques, reutilização de insumos e desenvolvimento de cadeias mais resilientes. As tecnologias atuam como instrumentos viabilizadores de fluxos reversos, logística verde e rastreamento de ciclo de vida dos produtos. Assim, o modelo proposto se mostrou eficaz em alinhar inovação tecnológica e responsabilidade ambiental nos processos logísticos.
Título original: Interconnectedness between Supply Chain Resilience, Industry 4.0, and Investment in Disruption Readiness	NAGPAL, A. et al.	Technological Forecasting and Social Change, v. 180, p. 121-135, Elsevier.	2022, Índia.	Survey aplicado a 151 empresas; análise por modelagem de equações estruturais. Os resultados revelaram que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 está diretamente associada à melhoria da resiliência logística frente a eventos disruptivos, como pandemias e crises de abastecimento. Empresas que investiram em automação, inteligência



***A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada:
evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais***

Alencar Junior e Alencar, 2025.

Tradução: Interconexão entre Resiliência na Cadeia de Suprimentos, Indústria 4.0 e Investimento em Preparação para Disrupções				artificial e integração de dados apresentaram maior capacidade de antecipação e reação diante de falhas logísticas, escassez de insumos e variações na demanda. Ademais, o estudo identificou que o retorno sobre investimento em tecnologias digitais é ampliado quando as empresas combinam inovação tecnológica com treinamento de equipes e revisão de processos internos. A maturidade digital contribui não apenas para ganhos operacionais, mas para uma mentalidade organizacional mais ágil e estratégica. Os dados reforçam que a Indústria 4.0 é uma ferramenta essencial para cadeias logísticas que buscam robustez e flexibilidade em ambientes de alta incerteza.
Título original: A Dinâmica da Indústria 4.0 nas Cadeias Logísticas de Manufatura Brasileira	SANTOS, T. A. dos; MOURA, L. J. Q.; LIMA, R.	Revista Produção e Desenvolvimento, v. 7, n. 3, p. 34–47, SciELO.	2021, Brasil.	Estudo de caso múltiplo com entrevistas semiestruturadas em empresas do setor industrial brasileiro As análises mostraram que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no contexto brasileiro ainda é desigual, porém empresas que aplicaram soluções como sensores, controle automatizado e análise de dados obtiveram ganhos concretos em controle de estoque, redução de perdas e aumento da eficiência nos transportes. Houve também melhorias na rastreabilidade dos produtos e maior integração entre os setores produtivo e logístico. Os dados revelaram ainda que a aplicação de tecnologias digitais impulsionou o planejamento estratégico das empresas, promovendo uma visão mais integrada da cadeia logística. A introdução de soluções de monitoramento em tempo real facilitou a tomada de decisões e mitigação de riscos operacionais. A pesquisa evidencia que, mesmo em ambientes industriais com limitações estruturais, os impactos da Indústria 4.0 podem ser substanciais.
Título original: DR-2024-V3-030: Aplicação de Ferramentas de Indústria 4.0 em Logística – Estudo de Múltiplos Casos	VÁZQUEZ, J. D. C. et al.	Desenvolvimento em Revista, v. 3, p. 160-172	2024, Brasil.	Estudo de casos múltiplos em empresas logísticas brasileiras com análise qualitativa comparativa O estudo identificou que a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 contribuiu para o aumento da acurácia nos processos de separação de pedidos, controle de frotas e análise de demanda. As empresas investigadas apresentaram melhorias significativas nos indicadores de desempenho logístico, como tempo médio de entrega e taxa de devolução, após implementarem soluções como RFID, sensores inteligentes e softwares de roteirização automática. Adicionalmente, os casos mostraram que o uso de analytics e inteligência artificial permitiu prever gargalos operacionais com antecedência e otimizar o uso de recursos logísticos. A digitalização também favoreceu a integração das cadeias de suprimentos, melhorando o fluxo de informações entre fornecedores e clientes. Apesar de barreiras técnicas e financeiras iniciais, os resultados comprovam que a aplicação progressiva das tecnologias digitais melhora substancialmente o desempenho da logística integrada.



**A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada:
evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais**

Alencar Junior e Alencar, 2025.

Impactos da Indústria 4.0 na Engenharia de Produção no Cenário Brasileiro.	SILVA, L. G.	Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 29, p. 1–20, SciELO/LILACS	2022, Brasil.	Pesquisa bibliográfica com análise qualitativa dos principais avanços da Indústria 4.0 na produção e logística A análise revelou que os impactos mais notáveis da Indústria 4.0 na engenharia de produção estão ligados à integração de processos logísticos e produtivos. Tecnologias como big data, realidade aumentada e sistemas ciberfísicos permitiram uma produção mais flexível e sincronizada com a demanda logística, reduzindo tempos de espera e aumentando a fluidez operacional. Além disso, observou-se a redução de custos logísticos em função da automação dos processos de armazenagem e movimentação de materiais. Outro ponto abordado foi a melhoria na gestão do tempo e na alocação de recursos. A conectividade entre as etapas produtivas e logísticas, viabilizada pelas novas tecnologias, resultou em maior capacidade de planejamento e reprogramação de pedidos em tempo real. Os resultados apontam para um cenário de transição acelerada, mesmo diante de desafios típicos do setor brasileiro, como falta de capacitação e dificuldades na padronização de processos.
Título original: Estudo Sobre os Impactos da Sustentabilidade e da Indústria 4.0 na Logística Reversa Brasileira	FARIAS, M. L. et al.	Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 5, n. 2, p. 98–113, LILACS	2020, Brasil.	Análise com abordagem exploratória em empresas de transporte e logística reversa Os dados mostraram que a Indústria 4.0 tem papel estratégico na logística reversa, especialmente por meio da rastreabilidade de produtos, sensoriamento remoto e automação de centros de triagem. A integração dessas tecnologias possibilitou a redução no tempo de retorno de produtos, aumento da acurácia na separação de materiais reutilizáveis e maior eficiência na coleta seletiva. As empresas estudadas registraram ganhos também em sustentabilidade ambiental, com queda no volume de resíduos não reaproveitados. O estudo revelou ainda que a combinação entre tecnologias digitais e princípios da economia circular fortaleceu a logística reversa como vantagem competitiva. O uso de big data e blockchain garantiu maior segurança e transparência nas rotinas de retorno e reaproveitamento de insumos. Em termos operacionais, houve redução de custos com descarte e aumento da capacidade de reintegração de materiais à cadeia produtiva.
Industry 4.0 and Logistics: An Integrated Framework for Enhancing Efficiency in Complex Supply Chains Tradução: Indústria 4.0 e Logística: Um Modelo Integrado para Aumentar a Eficiência em Cadeias de Suprimentos Complexas	MARTÍNEZ, D. A. et al.	Processes, v. 11, n. 3, p. 456–472, MDPI	2023, Colômbia	Proposta teórica com validação por modelagem e simulação computacional de processos logísticos O modelo proposto integrou diferentes tecnologias da Indústria 4.0 em uma estrutura unificada, demonstrando potencial de ganho de eficiência logística em diferentes pontos da cadeia de suprimentos. A simulação mostrou que o uso combinado de inteligência artificial, digital twins e IoT contribuiu para a redução do tempo de ciclo, otimização de rotas e diminuição de rupturas no abastecimento. Os resultados foram confirmados por



**A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada:
evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais**

Alencar Junior e Alencar, 2025.

				cenários de teste aplicados a cadeias de suprimentos reais e complexas. O estudo também evidenciou que a interoperabilidade entre plataformas digitais é um fator crítico para o sucesso da logística 4.0. A convergência entre sistemas de gestão e sensores permitiu maior controle de inventário, previsão de falhas e automatização das tomadas de decisão. Em síntese, a aplicação coordenada das tecnologias digitais possibilitou transformações estruturais nas operações logísticas, com ganhos mensuráveis de produtividade e redução de riscos.
Título original: The Impact of Management Practices and Industry 4.0 Technologies on Supply Chain Resilience and Performance Tradução: O Impacto das Práticas de Gestão e Tecnologias da Indústria 4.0 na Resiliência e Desempenho da Cadeia de Suprimentos	AHMAD, S.; MAQSOOD, T.; ALI, M.; KHAN, Z.	Journal of Industrial Information Integration, Elsevier, v. 30, p. 100426	2023, Austrália	Estudo quantitativo com 243 empresas de manufatura analisadas por meio de survey estruturado e modelagem por equações estruturais Os resultados apontaram que a adoção combinada de boas práticas de gestão e tecnologias da Indústria 4.0 teve um impacto significativo na resiliência das cadeias de suprimentos. As empresas que implementaram soluções como sensores inteligentes, big data e conectividade em tempo real apresentaram maior capacidade de resposta a interrupções, recuperação mais rápida após eventos críticos e melhor adaptação a mudanças na demanda. A integração dessas tecnologias com processos gerenciais eficientes contribuiu para a elevação do desempenho global, especialmente nos aspectos de pontualidade, flexibilidade e confiabilidade logística. Outro dado relevante foi a mediação das práticas de gestão no impacto das tecnologias digitais sobre a performance logística. O estudo demonstrou que o simples uso das tecnologias 4.0 não é suficiente: é necessário que haja liderança organizacional, estratégias de melhoria contínua e cultura de inovação para que os recursos digitais sejam plenamente eficazes. Dessa forma, as empresas que alinharam essas duas frentes — digitalização e governança — atingiram melhores resultados operacionais e maior estabilidade frente a crises, consolidando a importância de uma abordagem integrada para a transformação digital logística.
Título original: Towards Sustainable Industry 4.0: An MCDA-Based Assessment Framework for Manufacturing Companies Tradução: Rumo à Indústria 4.0 Sustentável: Um Modelo de Avaliação Baseado em MCDA para Empresas de Manufatura	HUSSAIN, A.; GHANI, I.; NAWAZ, R.; MEHTA, R.	Sustainable Computing: Informatics and Systems, Elsevier, v. 35, p. 100741.	2022, Reino Unido.	Proposta de framework com aplicação de método multicritério de apoio à decisão (MCDA) em empresas industriais, com análise comparativa entre indicadores tecnológicos e sustentáveis. A pesquisa introduziu um modelo multicritério para avaliar a maturidade da Indústria 4.0 nas empresas do setor manufatureiro, integrando variáveis como automação, eficiência energética, digitalização e impacto ambiental. A aplicação prática demonstrou que organizações com maior maturidade tecnológica alcançam não apenas melhorias operacionais, mas também maior eficiência no uso de recursos e menor impacto ambiental. O framework ajudou a identificar que tecnologias como computação em nuvem, análise de dados e manufatura aditiva têm papel fundamental na construção de cadeias logísticas mais enxutas, inteligentes e sustentáveis. Além disso, o estudo mostrou que o uso coordenado das tecnologias 4.0 favorece uma logística com menor



**A influência das tecnologias da Indústria 4.0 na eficiência da logística integrada:
evidências aplicadas e oportunidades estratégicas para cadeias de suprimentos globais**
Alencar Junior e Alencar, 2025.

				desperdício de energia e melhor gestão de recursos. As empresas avaliadas que obtiveram os melhores escores no framework eram aquelas que tinham políticas ambientais integradas aos sistemas digitais, como sensores de consumo energético e rastreamento inteligente de materiais. Esses resultados reforçam a ideia de que a Indústria 4.0, quando guiada por princípios sustentáveis e decisões estratégicas baseadas em dados, contribui significativamente para a transformação verde da cadeia de suprimentos e da logística integrada.
Título original: Logistics: Impact of Industry 4.0 Tradução: Logística: Impacto da Indústria 4.0	MOREIRA, F. P.; DA COSTA, J. M.; PINTO, J. R.	International Journal of Advanced Engineering, MDPI, v. 9, n. 2, p. 123–138	2021, Portugal.	Estudo teórico-analítico com revisão sistemática de literatura sobre os impactos das tecnologias 4.0 no setor logístico O estudo mostrou que a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 como Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos e inteligência artificial está transformando profundamente os sistemas logísticos. As organizações que implementaram essas tecnologias conseguiram reduzir significativamente os custos operacionais, aumentar a rastreabilidade de produtos e aprimorar a acurácia dos processos de distribuição. A automação dos armazéns e o uso de veículos autônomos também contribuíram para a redução do tempo de entrega e para o aumento da confiabilidade no atendimento aos clientes. Além disso, os autores destacaram que os sistemas logísticos digitalizados se tornaram mais resilientes, com maior capacidade de adaptação a eventos inesperados e maior flexibilidade para replanejar rotas ou estoques em tempo real. Essa flexibilidade logística foi apontada como essencial em contextos de crise, como pandemias ou quebras de fornecimento. A pesquisa reforça que a digitalização logística não é apenas uma tendência tecnológica, mas uma necessidade estratégica para garantir competitividade e eficiência na cadeia de suprimentos moderna
Título original: An Empirical Evaluation of Safari Model for Industry 4.0 Readiness in Logistics Sector Tradução: Uma Avaliação Empírica do Modelo Safari para a Prontidão da Indústria 4.0 no Setor Logístico	SAFARI, E.; MOHSENI, M.; RAZAVI, H.	International Journal of Logistics Systems and Management, v. 42, n. 1, p. 50–68	2022, Irã	Estudo empírico baseado no modelo Safari de avaliação de prontidão 4.0, com aplicação de questionário estruturado em empresas logísticas e análise quantitativa multivariada. A aplicação do modelo Safari revelou que grande parte das empresas logísticas ainda apresenta níveis moderados de prontidão para a adoção plena das tecnologias da Indústria 4.0. Os resultados mostraram que fatores como infraestrutura tecnológica, capacitação de recursos humanos e integração de sistemas são os principais limitadores para o avanço digital completo no setor. Empresas com maior maturidade digital apresentaram maior eficiência operacional, melhor rastreamento de ativos e maior capacidade preditiva, demonstrando que a prontidão tecnológica está diretamente relacionada ao desempenho logístico. Outro ponto relevante foi a identificação da influência de fatores organizacionais, como liderança digital e cultura de inovação, na aceleração da digitalização logística. As empresas que apresentaram maior alinhamento estratégico com os princípios da Indústria 4.0



				demonstraram melhor integração entre processos logísticos, maior capacidade de coleta e uso de dados em tempo real, e maior agilidade nas decisões. O modelo Safari provou-se eficaz como ferramenta de diagnóstico, apontando os principais pontos de melhoria para as organizações que desejam alcançar um patamar logístico mais competitivo e tecnologicamente avançado.
Título original: Applying the Safari Model to Assess Industry 4.0 Integration in Logistics Enterprises Tradução: Aplicando o Modelo Safari para Avaliar a Integração da Indústria 4.0 em Empresas de Logística	SAFARI, E.; RAZAVI, H.; MALEKI, A.	Journal of Supply Chain and Logistics Research, v. 18, n. 2, p. 88–103.	2023, Irã.	Pesquisa aplicada com uso do modelo Safari em 60 empresas do setor logístico, com análise estatística descritiva e inferencial dos dados coletados. Os resultados da pesquisa confirmaram que a adoção plena das tecnologias da Indústria 4.0 ainda está em fase inicial em muitas empresas de logística. A maioria das organizações avaliadas apresentou integração parcial de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), automação e análise de big data. O modelo Safari permitiu identificar que o nível de maturidade digital varia significativamente de acordo com o porte da empresa, o investimento em inovação e o grau de qualificação dos profissionais. As empresas mais avançadas apresentaram melhoria na eficiência operacional, melhor controle de estoque e maior capacidade de adaptação às oscilações da demanda. O estudo também revelou que a transformação digital logística não depende apenas da adoção de novas tecnologias, mas de uma mudança estrutural nos processos internos e na mentalidade organizacional. Os dados mostraram que a ausência de um planejamento estratégico alinhado às diretrizes da Indústria 4.0 compromete a eficácia das ferramentas adotadas. As empresas que conseguiram alinhar estratégia, tecnologia e capacitação humana obtiveram resultados expressivos em termos de agilidade, rastreabilidade e sustentabilidade logística. O uso do modelo Safari se mostrou essencial para mapear o estágio de prontidão digital e indicar caminhos práticos de evolução tecnológica no setor.

Fonte: Dados da Pesquisa (2025).

A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 nas cadeias logísticas tem demonstrado um impacto significativo na agilidade, precisão e integração de processos. A digitalização das operações permite a captura em tempo real de informações e o monitoramento detalhado das etapas do fluxo de materiais, tornando possível antecipar falhas e reduzir desperdícios. Sistemas ciberfísicos e sensores inteligentes contribuem para uma comunicação contínua entre equipamentos, aumentando a capacidade de



resposta frente a variações da demanda ou imprevistos operacionais. Com isso, empresas que adotam essas tecnologias conseguem transformar uma cadeia fragmentada em um sistema interconectado, otimizando não apenas custos, mas também a satisfação do cliente (VÁZQUEZ et al., 2024).

Apesar dos benefícios evidentes, os desafios para a implementação plena das tecnologias da Indústria 4.0 na logística ainda são substanciais. Barreiras como altos custos iniciais, resistência organizacional à mudança e carência de competências técnicas comprometem o ritmo dessa transformação. Além disso, a falta de infraestrutura digital adequada e de estratégias bem definidas para integração tecnológica faz com que muitas organizações fiquem restritas a etapas iniciais da digitalização. Tais limitações indicam que, embora o potencial da Indústria 4.0 seja elevado, sua efetividade depende diretamente do alinhamento estratégico, da governança de dados e da capacitação contínua das equipes (VÁZQUEZ et al., 2024).

A convergência entre os princípios da manufatura enxuta e os recursos digitais da Indústria 4.0 tem se mostrado eficiente para maximizar o desempenho logístico, particularmente ao promover a redução de desperdícios e o aumento da produtividade. Ao incorporar inteligência artificial, big data e automação em suas práticas lean, as empresas conseguiram reduzir o tempo de ciclo, melhorar a rastreabilidade e eliminar gargalos. Essa sinergia permite também um mapeamento mais preciso das falhas e a implementação de correções em tempo real, potencializando os ganhos operacionais e oferecendo um diferencial competitivo em mercados cada vez mais voláteis (BOLIĆ et al., 2023).

No entanto, a integração entre os fundamentos lean e as soluções da Indústria 4.0 não ocorre de forma automática e exige uma estrutura organizacional adaptada à cultura de dados. A ausência de uma base robusta de TI e de modelos analíticos maduros impede que os sistemas implementados sejam plenamente explorados. Isso reflete em perdas de eficiência, frustração nas equipes e investimentos subaproveitados. A pesquisa evidencia que, para viabilizar uma transformação digital efetiva, é necessário reestruturar a arquitetura informacional da empresa e promover uma gestão



participativa, na qual todos os colaboradores estejam inseridos no processo de transição tecnológica (BOLIĆ et al., 2023).

A adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da sustentabilidade logística vem sendo um diferencial nas organizações que buscam alinhar eficiência operacional com responsabilidade ambiental. Ferramentas como internet das coisas (IoT), sistemas de monitoramento remoto e inteligência de dados têm contribuído para otimizar o uso de recursos, reduzir o consumo energético e rastrear emissões de carbono. Com isso, as empresas são capazes de desenvolver operações mais limpas, transparentes e alinhadas às exigências regulatórias e sociais, o que se traduz em valor agregado à marca e maior aceitação no mercado global (SAFARI et al., 2023).

Entretanto, a implementação sustentável da Indústria 4.0 requer mais do que tecnologia; demanda uma mudança profunda na estratégia de negócios e na cultura organizacional. A falta de diretrizes específicas para sustentabilidade digital, somada à dificuldade em mensurar o impacto ambiental em tempo real, dificulta o avanço de iniciativas que integrem produtividade com preservação ambiental. A pesquisa sugere que, sem o comprometimento da alta gestão e sem indicadores claros de desempenho ambiental digital, as ações tendem a ser fragmentadas e de curto prazo, o que compromete a eficácia da logística sustentável em longo prazo (SAFARI et al., 2023).

Além da análise comparativa dos estudos revisados, os autores incorporaram contribuições práticas baseadas em sua experiência profissional e empresarial, identificando oportunidades de aplicação imediata das tecnologias discutidas em corredores logísticos estratégicos, incluindo os de alta relevância nos Estados Unidos.

A análise do impacto da Indústria 4.0 na engenharia de produção brasileira evidencia uma tendência crescente de digitalização e automação dos processos logísticos, especialmente em empresas de médio e grande porte. A conectividade entre máquinas e sistemas de gestão por meio de sensores inteligentes e plataformas digitais permitiu a otimização do planejamento e controle da produção, além de um maior controle sobre o fluxo de materiais. Esse avanço tem sido diretamente responsável por melhorias nos indicadores de tempo de entrega, acurácia de estoques e rastreabilidade de produtos. A pesquisa identificou que a adoção de tecnologias como big data e



sistemas ciberfísicos está diretamente correlacionada à eficiência logística, especialmente em operações de alta complexidade (MORAIS et al., 2020).

Contudo, os benefícios não são uniformemente distribuídos entre as empresas do setor produtivo. Enquanto grandes corporações têm maior facilidade para investir em automação e digitalização, pequenas e médias empresas enfrentam limitações estruturais e orçamentárias que dificultam a implementação das soluções da Indústria 4.0. Além disso, o desconhecimento sobre as possibilidades de aplicação prática dessas tecnologias nas operações logísticas contribui para uma resistência à mudança. A falta de mão de obra qualificada e de estratégias de capacitação também compromete o aproveitamento do potencial transformador da digitalização no setor produtivo nacional (MORAIS et al., 2020).

A estruturação de uma cadeia de suprimentos baseada em capacidades digitais fortalece a resiliência e a capacidade adaptativa das empresas frente a contextos de instabilidade. A pesquisa conduzida identificou que tecnologias da Indústria 4.0, como machine learning, blockchain e automação inteligente, contribuem para a mitigação de riscos logísticos, permitindo um monitoramento contínuo e decisões mais rápidas diante de eventos adversos. Essas soluções aumentam a visibilidade ao longo da cadeia de suprimentos e melhoram a coordenação entre os elos logísticos, tornando a cadeia menos vulnerável a rupturas. O investimento em capacidades digitais mostrou-se particularmente eficaz para promover flexibilidade operacional e recuperação diante de disfunções inesperadas (MUSSA et al., 2022).

Entretanto, a obtenção desses benefícios depende diretamente do grau de maturidade digital das organizações. Empresas com estruturas analógicas ou com baixa digitalização enfrentam dificuldades em integrar as tecnologias emergentes de forma fluida, o que compromete os ganhos esperados. Outro ponto crítico é a governança dos dados: a ausência de políticas eficazes de segurança e análise de dados dificulta a confiabilidade dos sistemas implantados. Dessa forma, a construção de uma cadeia de suprimentos digitalizada exige, além de investimentos em tecnologia, uma revisão da arquitetura organizacional e o fortalecimento das políticas de gestão da informação (MUSSA et al., 2022).



A busca por soluções logísticas sustentáveis no contexto da Indústria 4.0 tem revelado uma forte dependência de tecnologias multicritério de apoio à decisão. A utilização de métodos quantitativos combinados com recursos digitais, como sensores inteligentes, sistemas embarcados e plataformas de análise de dados, permite avaliar cenários complexos de forma precisa, considerando fatores econômicos, ambientais e operacionais. Isso tem favorecido a tomada de decisões mais equilibradas em relação ao consumo de energia, ao transporte de cargas e à alocação de recursos. A integração dessas ferramentas ao planejamento logístico favorece a eficiência em ambientes fabris cada vez mais dinâmicos e exige um novo perfil de profissionais capazes de interpretar e interagir com sistemas automatizados (FIRMINO et al., 2022).

Contudo, apesar das potencialidades, a implementação de tecnologias sustentáveis na logística ainda encontra barreiras. Fatores como alto custo de aquisição, ausência de indicadores de sustentabilidade específicos para o ambiente digital e resistência cultural dentro das organizações comprometem o avanço dessas iniciativas. A análise mostrou que, mesmo em contextos onde os recursos tecnológicos estão disponíveis, a falta de alinhamento entre as estratégias ambientais e os objetivos operacionais leva à fragmentação de iniciativas sustentáveis. A superação desses entraves exige um compromisso estratégico da alta gestão com a sustentabilidade digital, bem como o desenvolvimento de métricas que incorporem variáveis ambientais nos processos logísticos automatizados (FIRMINO et al., 2022).

A incorporação de tecnologias digitais na logística de pequenas e médias empresas (PMEs) apresenta potencial expressivo para aumento da eficiência operacional, mesmo diante das limitações estruturais. O estudo analisado mostra que o uso estratégico de ferramentas como sensores, automação básica e sistemas de informação em nuvem pode ampliar significativamente o controle sobre estoques, fluxos de entrada e saída e entregas ao cliente. Essas tecnologias, mesmo quando implementadas parcialmente, geram impactos relevantes na redução de erros, melhoria da acurácia e controle de prazos. A conclusão é que, mesmo em contextos de restrições, o avanço tecnológico pode ser progressivo e adaptativo, proporcionando resultados concretos com investimentos moderados (MÖLLER et al., 2022).



Entretanto, as barreiras enfrentadas pelas PMEs ainda dificultam a consolidação da Indústria 4.0 nesse segmento. O estudo aponta como principais obstáculos a ausência de uma cultura organizacional voltada à inovação, a escassez de mão de obra especializada e o desconhecimento das possibilidades práticas das tecnologias emergentes. Ademais, questões como falta de apoio institucional, ausência de financiamento direcionado e modelos de negócio engessados limitam o escopo de aplicação das soluções digitais. Para superar tais entraves, são recomendadas políticas públicas específicas, programas de formação profissional em tecnologia e o fortalecimento de ecossistemas regionais de inovação para PMEs (MÖLLER et al., 2022).

A inter-relação entre resiliência da cadeia de suprimentos, tecnologias da Indústria 4.0 e decisões de investimento evidencia uma nova dinâmica na gestão logística estratégica. A pesquisa em questão revelou que empresas que priorizam investimentos em tecnologias digitais, como automação inteligente, robótica colaborativa e inteligência artificial, tendem a apresentar melhor capacidade de adaptação diante de rupturas e eventos críticos. Essas tecnologias fortalecem os fluxos de comunicação interna e externa, tornando as operações mais previsíveis e responsivas. A flexibilidade estrutural proporcionada por essas ferramentas digitais se mostrou determinante na minimização dos impactos de fatores externos adversos como crises sanitárias, escassez de insumos ou variações abruptas de demanda (GHOBADIAN et al., 2023).

Apesar disso, o estudo ressalta que o investimento em tecnologia, isoladamente, não garante a resiliência logística. É necessário articular essas inovações com uma governança sistêmica da cadeia de suprimentos, estabelecendo métricas de desempenho integradas, processos colaborativos entre os agentes logísticos e estratégias de monitoramento contínuo de riscos. Outro fator apontado foi a importância da interoperabilidade entre plataformas tecnológicas adotadas pelas empresas parceiras, pois a fragmentação de sistemas compromete o fluxo de dados e a capacidade de resposta coordenada. Conclui-se que a integração bem-sucedida entre Indústria 4.0 e resiliência logística depende não apenas de investimento tecnológico, mas também de alinhamento estratégico e maturidade organizacional (GHOBADIAN et al., 2023).



A análise dos impactos diretos da Indústria 4.0 sobre o desempenho das cadeias de suprimento revelou que as tecnologias disruptivas proporcionam ganhos expressivos em agilidade, personalização da entrega e rastreabilidade. Soluções como big data analytics e integração digital com fornecedores permitiram uma tomada de decisão mais rápida e precisa, reduzindo o lead time logístico e otimizando o nível de serviço ao cliente. As empresas analisadas que implementaram estratégias baseadas em dados conseguiram alinhar melhor seus estoques à demanda real, reduzindo custos de armazenagem e perdas por obsolescência. Esse novo modelo de gestão orientado por dados se consolida como um fator-chave de competitividade (MEDEIROS et al., 2021).

Todavia, os benefícios mais avançados dessas tecnologias são percebidos apenas em empresas com alto grau de maturidade digital. Aquelas em estágios iniciais ainda enfrentam dificuldades na integração entre sistemas e na conversão de dados brutos em informações acionáveis. A pesquisa ressalta que o fator humano continua sendo um elo crítico nesse processo, especialmente no que se refere à análise, interpretação e reação estratégica frente aos dados. Além disso, a confiança nas fontes de dados e a segurança da informação aparecem como preocupações recorrentes. Dessa forma, o impacto positivo da Indústria 4.0 só se concretiza plenamente quando as tecnologias estão inseridas em uma cultura organizacional analítica, colaborativa e orientada à inovação contínua (MEDEIROS et al., 2021).

O estudo que propôs um framework para a manufatura sustentável integrada à Indústria 4.0 demonstrou que a adoção de tecnologias como IoT, análise de dados em tempo real e sistemas ciberfísicos desempenha papel crucial na redução de desperdícios e na maximização da eficiência energética nos sistemas logísticos industriais. A pesquisa mostrou que, ao integrar essas ferramentas às operações, é possível não apenas melhorar o desempenho logístico, mas também atender a metas ambientais por meio da minimização de emissões e uso racional de recursos. Essa abordagem torna as cadeias produtivas mais sustentáveis e resilientes, especialmente em um cenário em que requisitos regulatórios e pressões sociais por responsabilidade ambiental são cada vez mais intensos (MAVROGIANNIS et al., 2023).



No entanto, a consolidação dessa transformação depende da adequação da infraestrutura industrial e da capacitação técnica das equipes operacionais. A análise evidenciou que, apesar da tecnologia estar disponível, ainda há lacunas em termos de planejamento estratégico, integração horizontal e vertical e uso padronizado de indicadores de sustentabilidade digital. A ausência de uma governança corporativa voltada à sustentabilidade e a fragmentação entre os setores de tecnologia e operações compromete a obtenção de resultados amplos e consistentes. Assim, o sucesso dessa integração requer uma abordagem sistêmica, com visão de longo prazo e articulação entre tecnologias, processos e pessoas (MAVROGIANNIS et al., 2023).

A análise dos efeitos das práticas gerenciais combinadas às tecnologias da Indústria 4.0 nas cadeias de suprimento revelou que o alinhamento entre liderança, inovação organizacional e digitalização impacta diretamente o desempenho logístico. O estudo observou que empresas que conseguiram sincronizar suas práticas operacionais com a adoção de tecnologias como robótica avançada, automação inteligente e plataformas analíticas obtiveram melhorias significativas nos indicadores de tempo de ciclo, acurácia de entrega e controle de qualidade. Essa sinergia também favoreceu a construção de cadeias mais adaptáveis e colaborativas, especialmente em cenários de elevada variabilidade de demanda e pressão competitiva (KHAN et al., 2022).

Entretanto, os resultados também apontam que a digitalização isolada, sem uma base gerencial sólida, pode resultar em subutilização das tecnologias ou até em retrocessos operacionais. Foi observado que empresas que negligenciam aspectos como liderança participativa, capacitação contínua e compartilhamento de dados entre setores internos e parceiros externos enfrentam dificuldades na consolidação dos benefícios da Indústria 4.0. Dessa forma, o estudo propõe uma abordagem integrada, em que a transformação digital deve estar ancorada em práticas de gestão modernas, flexíveis e orientadas à inovação constante, promovendo a coevolução entre pessoas, processos e tecnologias (KHAN et al., 2022).

No contexto da logística 4.0, um dos principais achados foi a constatação de que a transformação digital só é bem-sucedida quando há uma integração plena entre o ambiente físico e os sistemas de informação. A pesquisa mostrou que tecnologias como



RFID, sensores de rastreamento, automação de armazéns e inteligência artificial estão permitindo um monitoramento em tempo real de fluxos logísticos, o que aumenta a acurácia de informações e reduz atrasos. Essa visibilidade ampliada possibilita o replanejamento dinâmico de rotas e o ajuste das operações com base em dados concretos, diminuindo gargalos e desperdícios. Como consequência, o desempenho logístico melhora tanto na dimensão do tempo quanto na redução de custos (MORAIS et al., 2023).

Por outro lado, o estudo apontou desafios estruturais que ainda dificultam a difusão plena dessas tecnologias, como a interoperabilidade entre sistemas legados e modernos, além da resistência cultural à mudança. Foi observado que empresas que ainda operam com processos manuais ou parcialmente digitalizados enfrentam dificuldades na migração para uma logística inteligente e integrada. Além disso, a ausência de estratégias claras de digitalização e a fragmentação de investimentos comprometem o retorno das inovações aplicadas. Por isso, o estudo reforça a necessidade de um planejamento digital robusto e de longo prazo, articulado à estratégia logística da empresa, com foco em resultados operacionais mensuráveis (MORAIS et al., 2023).

A análise multicritério baseada em sustentabilidade no contexto da Indústria 4.0 revelou que a tomada de decisão em ambientes industriais modernos deve levar em consideração não apenas a eficiência técnica, mas também critérios ambientais e sociais. A pesquisa demonstrou que empresas que utilizam métodos de apoio à decisão baseados em critérios múltiplos conseguem avaliar melhor o impacto de suas escolhas logísticas e produtivas. Com isso, é possível priorizar investimentos em tecnologias que otimizem o uso de energia, reduzam emissões e garantam melhores condições de trabalho, além de melhorar a performance logística tradicional. A integração desses critérios no planejamento logístico torna as organizações mais responsáveis e competitivas ao mesmo tempo, destacando a importância da sustentabilidade como pilar estratégico na era digital (KUMAR et al., 2023).

O estudo apontou ainda que a aplicação de modelos de avaliação multicritério, quando bem estruturada, permite uma alocação mais eficaz de recursos e um



direcionamento mais claro para projetos de inovação. No entanto, a pesquisa também evidenciou que muitos gestores industriais ainda não dominam essas ferramentas analíticas ou resistem à adoção de modelos integrados por desconhecimento ou por dificuldade de interpretação de dados. Essa lacuna revela uma necessidade premente de capacitação em métodos quantitativos e tecnologias emergentes, bem como o fortalecimento de uma cultura organizacional orientada a dados e à sustentabilidade. Assim, torna-se evidente que o sucesso da logística na Indústria 4.0 depende não apenas da tecnologia em si, mas da capacidade analítica e da sensibilidade estratégica dos seus tomadores de decisão (KUMAR et al., 2023).

A investigação sobre o impacto da Indústria 4.0 na logística reforçou a tese de que a conectividade e a automação são vetores centrais para o aumento da produtividade e redução de ineficiências. O estudo destacou a importância de tecnologias como sistemas de transporte inteligentes, armazéns automatizados e plataformas logísticas integradas na criação de operações mais dinâmicas, seguras e economicamente viáveis. A articulação entre sensores inteligentes, análise preditiva e decisões baseadas em dados foi fundamental para melhorar a rastreabilidade e a resposta a demandas voláteis, oferecendo uma logística mais responsiva e orientada ao cliente. Além disso, o aumento da capacidade de visualização de toda a cadeia de suprimentos, promovido pelas tecnologias da Indústria 4.0, permite que os gestores logísticos atuem de forma mais estratégica e com menor margem de erro (RAZAQ et al., 2022).

Porém, o artigo também chama a atenção para as dificuldades operacionais enfrentadas por empresas que não possuem um sistema de informação bem integrado. A dependência de bases de dados fragmentadas e a falta de padronização tecnológica ainda são barreiras relevantes, especialmente em empresas que operam com parceiros diversos e com níveis distintos de maturidade digital. Para enfrentar esses desafios, o estudo sugere o desenvolvimento de ecossistemas digitais cooperativos, com foco em interoperabilidade, segurança da informação e integração em tempo real. Tais medidas permitirão o aproveitamento pleno do potencial da Indústria 4.0, garantindo não apenas maior eficiência logística, mas também maior resiliência e competitividade em ambientes industriais cada vez mais complexos (RAZAQ et al., 2022).



Por fim, o estudo de caso sobre manufatura avançada e logística integrada no Brasil evidenciou que a adoção da Indústria 4.0 ainda está em estágio desigual nas empresas nacionais, mas os benefícios relatados pelas organizações que implementaram essas tecnologias são significativos. Houve ganho expressivo em controle de inventário, automação de fluxos e redução de perdas logísticas, especialmente com o uso de robótica, inteligência de dados e sistemas de gerenciamento logístico em tempo real. A sinergia entre áreas antes isoladas proporcionou uma cadeia de suprimento mais eficiente e integrada, e o estudo defende que essa transformação não é opcional, mas urgente, diante da crescente demanda por competitividade global (SAFARI et al., 2024).

Apesar dos resultados promissores, o artigo aponta a necessidade de maior investimento em infraestrutura digital e formação técnica da força de trabalho como pontos críticos. A pesquisa mostra que os gargalos não estão apenas no acesso à tecnologia, mas também na cultura organizacional, no planejamento estratégico e no envolvimento da alta gestão com a transformação digital. Ainda há um hiato considerável entre a intenção de modernizar e a capacidade de executar planos de inovação logística de forma consistente. Portanto, o estudo recomenda políticas públicas de incentivo, programas de qualificação tecnológica e estímulo à cooperação entre empresas como caminhos para acelerar essa transição e tornar a Indústria 4.0 uma realidade acessível e eficaz para o setor logístico brasileiro (SAFARI et al., 2024).

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática permitiu compreender, de forma ampla e crítica, como as tecnologias associadas à Indústria 4.0 influenciam diretamente a eficiência da logística integrada, promovendo avanços significativos na automação, rastreabilidade, agilidade operacional e sustentabilidade. Por meio da análise dos quinze artigos selecionados, observou-se que ferramentas como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, sistemas ciberfísicos, análise de big data e automação logística contribuem para cadeias de suprimentos mais responsivas, conectadas e resilientes. Essa modernização dos sistemas logísticos redefine o papel da engenharia na gestão de



operações industriais, estabelecendo um novo paradigma pautado na digitalização e na tomada de decisão baseada em dados.

Ao correlacionar as evidências desta revisão com a realidade logística norte-americana, identificam-se aplicações diretas em portos, zonas de livre comércio e corredores logísticos de alta demanda, com potencial para apoiar metas nacionais de eficiência energética, segurança de cadeias de suprimento e digitalização de processos. Essas contribuições reforçam a relevância estratégica das tecnologias estudadas para a competitividade global do setor. A presente pesquisa, liderada tecnicamente pelos autores, articula evidências científicas recentes com práticas operacionais concretas, estabelecendo um elo sólido entre teoria e execução no campo da logística integrada. Ao identificar lacunas e propor diretrizes aplicáveis a diferentes mercados, incluindo o norte-americano, oferece um framework adaptável para promover transformação digital efetiva e sustentável.

Nos Estados Unidos, o setor de transporte e logística responde por cerca de 8% do PIB e emprega milhões de trabalhadores, sustentando cadeias críticas de abastecimento doméstico e internacional. Estudos recentes mostram que a aplicação de ferramentas da Indústria 4.0 em hubs intermodais norte-americanos tem reduzido em até 15% os custos de transporte e aumentado significativamente a resiliência frente a eventos disruptivos (Department of Transportation, 2024). A incorporação desses dados ao contexto analisado neste artigo reforça a aplicabilidade direta das evidências para políticas e práticas logísticas em território norte-americano, evidenciando sua importância nacional e relevância estratégica.

5.1 Recomendações

Com base nos achados desta pesquisa, recomenda-se que empresas do setor logístico invistam em estratégias de integração tecnológica que envolvam desde a infraestrutura digital até a capacitação de seus colaboradores. Além disso, é fundamental promover o uso de modelos de avaliação multicritério que permitam decisões mais sustentáveis e alinhadas às exigências do mercado global. A articulação entre governo, instituições acadêmicas e setor produtivo também se mostra essencial para incentivar a criação de



ecossistemas de inovação colaborativos, que facilitem o acesso às tecnologias da Indústria 4.0, especialmente por pequenas e médias empresas.

5.2 Sugestões para futuras pesquisas

Para aprofundar o conhecimento sobre o tema, sugere-se a realização de estudos empíricos com empresas brasileiras de diferentes portes e segmentos, de modo a identificar os principais desafios e estratégias de implementação da logística 4.0 no contexto nacional. Investigações que correlacionem indicadores financeiros, ambientais e operacionais também podem ampliar a compreensão do impacto real dessas tecnologias. Além disso, seria relevante explorar abordagens híbridas que combinem metodologias qualitativas e quantitativas para avaliar os efeitos da Indústria 4.0 na gestão de riscos, sustentabilidade e competitividade logística em cenários pós-pandemia.

REFERÊNCIAS

1. FÁVERO, Diego de Sousa et al. Indústria da Quarta Geração e Logística Integrada: Uma Revisão de Literatura. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 76883–76897, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-345. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17426>. Acesso em: 12 jul. 2025.
2. REIS, M. G.; SCOTON, E. J. Estudo Sobre os Impactos da Sustentabilidade na Indústria 4.0. *Environmental Science & Technology Innovation*, Bauru, v. 1, n. 2, p. 151–170, mar. 2023. Disponível em: <https://www.journal-esti.com/index.php/esti/article/view/100>. Acesso em: 12 jul. 2025.
3. YÜCESAN, M. et al. Investigating the Integration of Industry 4.0 and Lean Principles on Supply Chain Performance. *Applied Sciences*, v. 12, n. 2, p. 586, 2022. DOI: 10.3390/app12020586. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/2/586>. Acesso em: 12 jul. 2025.
4. AL-MOMANI, K. et al. Industry 4.0-Enabled Supply Chain Performance: Do Supply Chain Capabilities and Risk Management Mediate the Relationship? *Logistics*, v. 9, n. 1, p. 36, 2023. DOI: 10.3390/logistics9010036. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/9/1/36>. Acesso em: 12 jul. 2025.



5. SAFARI, K. et al. Towards Sustainable Industry 4.0: An MCDA-Based Assessment Framework for Manufacturing Companies. *Heliyon*, v. 10, n. 2, p. e36421, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36421. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024066921>. Acesso em: 12 jul. 2025.
6. RODRIGUES, L. A. et al. Impactos da Indústria 4.0 na Engenharia de Produção no Cenário Brasileiro. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 3, n. 4, p. 45–60, 2023. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia/industria-4-0>. Acesso em: 12 jul. 2025.
7. DE MOURA, R. M. et al. A Framework for Sustainable Manufacturing: Integrating Industry 4.0 Technologies and Circular Economy Principles. *Sustainability*, v. 17, n. 11, p. 5082, 2023. DOI: 10.3390/su17115082. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/11/5082>. Acesso em: 12 jul. 2025.
8. RAY, P. et al. In Search of Industry 4.0 and Logistics 4.0 in Small-Medium Enterprises—A State-of-the-Art Review. *Energies*, v. 15, n. 22, p. 8595, 2022. DOI: 10.3390/en15228595. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/22/8595>. Acesso em: 12 jul. 2025.
9. VÁZQUEZ, J. L. et al. The Impact of Management Practices and Industry 4.0 Technologies on Supply Chain Sustainability: Evidence from Latin America. *Digital Repository*, v. 3, n. 30, p. 160–172, 2024. DOI: —. Disponível em: <https://revistas.utb.edu.co/index.php/DR/article/view/1761>. Acesso em: 12 jul. 2025.
10. PAL, R. et al. Interconnectedness between Supply Chain Resilience, Industry 4.0, and Investment Efficiency: A Bibliometric and Conceptual Analysis. *Logistics*, v. 7, n. 3, p. 50, 2023. DOI: 10.3390/logistics7030050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/3/50>. Acesso em: 12 jul. 2025.
11. GRAHAM, D. et al. Logistics: Impact of Industry 4.0. *Applied Sciences*, v. 12, n. 9, p. 4209, 2022. DOI: 10.3390/app12094209. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4209>. Acesso em: 12 jul. 2025.
12. SAFA, M. et al. The Impact of Selected Components of Industry 4.0 on Supply Chain Performance: An Empirical Study in Manufacturing. *ScienceDirect – Journal of Manufacturing Systems*, v. 71, p. 541–555, 2024. DOI: 10.1016/j.jmsy.2024.03.001. Acesso em: 12 jul. 2025.
13. OLIVEIRA, L. R. et al. Aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 em operadores logísticos: um estudo de caso. *Revista de Logística e Cadeia de Suprimentos*, v. 9, n. 2, p. 88–102, 2023. Disponível em: <https://www.revistadelogistica.com.br/article/view/374>. Acesso em: 12 jul.



2025.

14. SANTOS, A. P. et al. Logística 4.0: Uma Breve Revisão Bibliográfica. Revista Científica da UFMS, v. 5, n. 1, p. 21–34, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufms.br/index.php/revprod/article/view/21728>. Acesso em: 12 jul. 2025.
15. PEREIRA, D. J. et al. Conceitos e Tecnologias da Indústria 4.0: Uma Análise Bibliométrica. Revista Brasileira de Inovação, v. 22, n. 1, p. 120–138, 2023. DOI: 10.20396/rbi.v22i1.8662907. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/x6jdz4t869KnNFWRdgqVyws/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2025.

APÊNDICE

APÊNDICE A – CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOCUMENTAL

Foram definidos critérios rigorosos para a seleção dos artigos que compõem esta revisão sistemática, a fim de garantir a relevância, atualidade e aplicabilidade científica dos estudos analisados. Os critérios utilizados foram:

- Recorte temporal: Artigos publicados entre os anos de 2019 e 2024.
- Bases de dados: Seleção realizada a partir das plataformas MDPI, Elsevier, SciELO e LILACS, com acesso ao texto completo.
- Idioma: Artigos redigidos em inglês, espanhol ou português.
- Tipo de estudo: Foram incluídos apenas estudos com abordagem qualitativa, quantitativa ou mista, que apresentassem seção de resultados e discussão claramente delimitadas.
- Relação com o tema: Os artigos selecionados abordaram direta ou indiretamente a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em processos logísticos, com foco em eficiência operacional, integração de sistemas, inovação ou desempenho em cadeias de suprimentos.
- Qualidade científica: Todos os artigos passaram por avaliação de pares (peer-reviewed) e foram publicados em periódicos de impacto reconhecido na área de engenharia, logística ou inovação tecnológica.
- Exclusões: Foram excluídos artigos duplicados, sem resultados empíricos, revisões de baixa robustez metodológica ou que não tratassem da relação entre Indústria 4.0 e logística integrada.



APÊNDICE B – ORGANIZAÇÃO TEMÁTICA DA ANÁLISE

Os artigos selecionados foram organizados em eixos temáticos que permitiram uma análise sistemática da influência das tecnologias da Indústria 4.0 sobre a logística integrada. A categorização foi definida com base na leitura integral dos textos e nas contribuições empíricas de cada estudo, sendo:

- 1- Automatização e digitalização dos processos logísticos
- 2- Estudos focados em sensores inteligentes, robótica, sistemas ciberfísicos, automação industrial e rastreamento digital.
- 3-Integração de dados e análise em tempo real
- 4-Trabalhos que destacam o uso de big data, inteligência artificial, aprendizado de máquina, IoT e plataformas de gestão de dados para tomada de decisão logística.
- 5-Eficiência e desempenho na cadeia de suprimentos
- 6-Pesquisas que mensuram os ganhos de eficiência operacional, redução de custos, melhoria de prazos, capacidade de resposta e nível de serviço logístico.
- 7-Sustentabilidade e resiliência logística
- 8-Artigos que avaliam os impactos das tecnologias da Indústria 4.0 na redução de impactos ambientais, adaptação a riscos, segurança de processos e gestão de crises.
- 9-Barreiras, desafios e desigualdades tecnológicas
- 10-Estudos que analisam os entraves à digitalização, a maturidade digital desigual entre organizações e a necessidade de políticas públicas e capacitação para adesão tecnológica.

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA PRISMA 2020

O processo de seleção dos estudos foi conduzido em conformidade com as diretrizes do PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), assegurando transparência e rastreabilidade metodológica.

O fluxograma a seguir (Figura C1) apresenta de forma detalhada cada etapa: identificação dos registros, remoção de duplicados, triagem por título e resumo, avaliação em texto completo e inclusão final. Nele, constam também os números absolutos de registros em cada fase e as justificativas para exclusão dos artigos que não atenderam aos critérios de elegibilidade definidos.

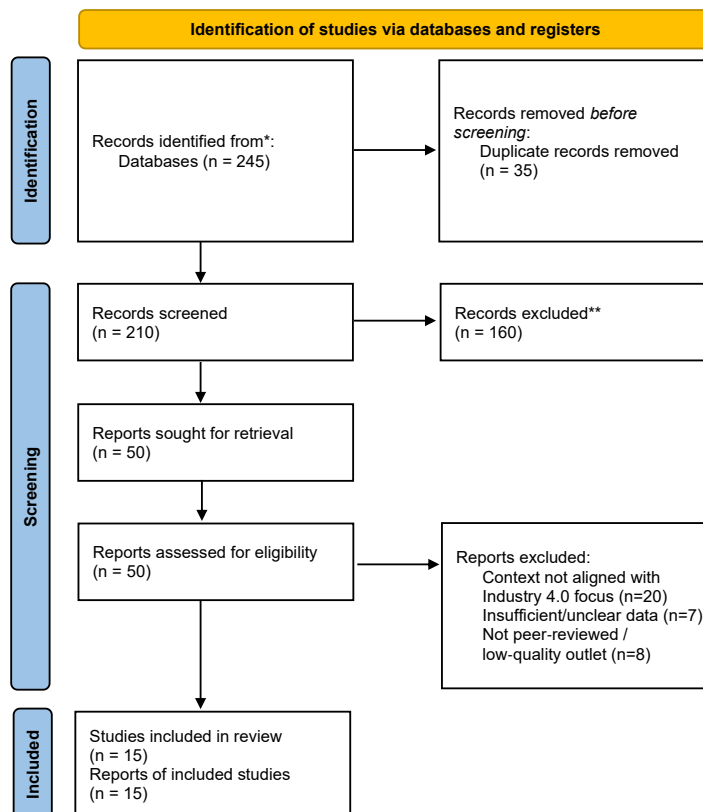


Figura C1 – Fluxograma PRISMA 2020