



LOGÍSTICA 4.0

LOGISTICS 4.0

SCHMIDT, Paulo ¹

SCHMIDT, Ana Paula ²

Resumo: O artigo objetiva apresentar a Logística 4.0 como um elemento que representa a convergência da logística tradicional com a automação e a tecnologia digital, visando aprimorar a cadeia de suprimentos com inteligência e conectividade. Trata-se de um estudo descrito, qualitativo e de revisão bibliográfica. A Indústria 4.0 busca modernizar a produção através da incorporação de tecnologias como IoT, IA e Big Data. Seus benefícios incluem eficiência operacional, visibilidade na cadeia de suprimentos, decisões baseadas em dados, flexibilidade, redução de custos, melhor atendimento ao cliente, sustentabilidade e estímulo à inovação. No entanto, sua implementação enfrenta desafios como custos iniciais elevados, falta de conhecimento e capacitação, integração de sistemas, resistência à mudança, segurança de dados, adequação regulatória e análise de grandes volumes de dados. Superar esses obstáculos demanda investimentos estratégicos, treinamento adequado, gestão eficaz da mudança e colaboração com especialistas, além de acompanhar de perto as tendências e inovações na área.

Palavras-chave: Logística 4.0. Indústria 4.0. Tecnologias digitais.

Abstract: The article aims to present Logistics 4.0 as an element representing the convergence of traditional logistics with automation and digital technology, aiming to enhance the supply chain with intelligence and connectivity. It is a qualitative study described in a literature review. Industry 4.0 seeks to modernize production through the incorporation of technologies such as IoT, AI, and Big Data. Its benefits include operational efficiency, supply chain visibility, data-driven decision-making, flexibility,

¹ Graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1988). Graduação em Formação de Professores pela IESJT (1991). Graduação em Pedagogia (2022). Graduação em Letras (2023). Graduação em História (2023). Mestrado em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1993) e Doutorado em Controladoria e Contabilidade pela Universidade de São Paulo (1996). Professor Titular da Faculdade São Francisco de Assis em Porto Alegre. E-mail: pschmidt@saofranciscodeassis.edu.br

² Graduanda de Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Intercambista de High School pela Pacific Law Academy, Stockton, California - USA. Graduanda em Gestão da Tecnologia da Informação e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Faculdade São Francisco de Assis. E-mail: ana.schmidt@ufrgs.br

cost reduction, improved customer service, sustainability, and innovation promotion. However, its implementation faces challenges such as high initial costs, lack of knowledge and training, system integration, resistance to change, data security, regulatory compliance, and analysis of large volumes of data. Overcoming these obstacles requires strategic investments, adequate training, effective change management, collaboration with experts, and closely monitoring trends and innovations in the field.

Keywords: Logistics 4.0. Industry 4.0. Digital technologies.

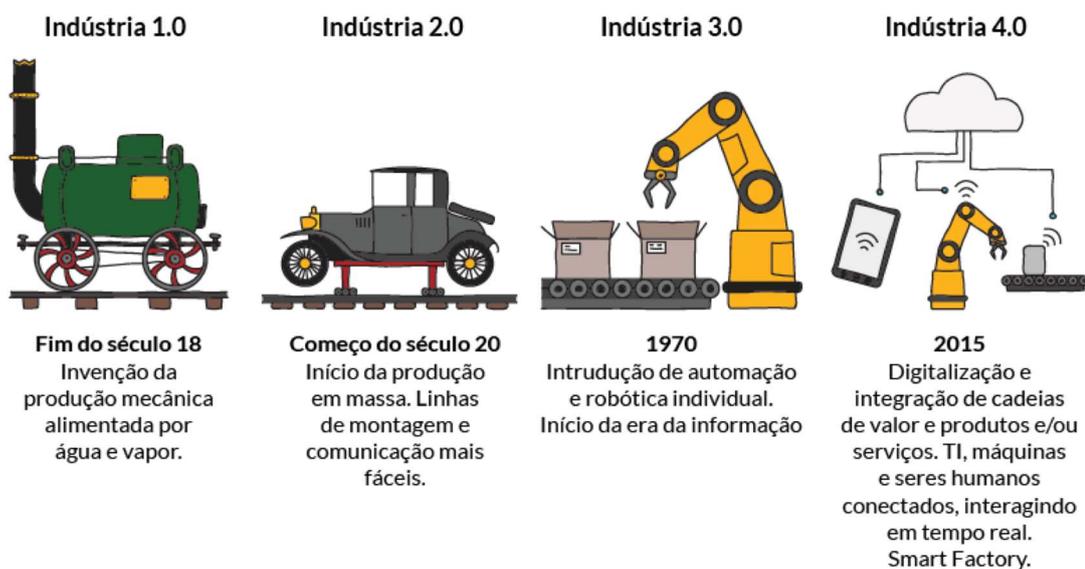
1 INTRODUÇÃO

A Logística 4.0 é uma proposta inovadora que simboliza a fusão da logística convencional com a automação e a tecnologia digital. Este avanço digital visa remodelar e aprimorar integralmente a cadeia de suprimentos, buscando torná-la mais inteligente, dinâmica, eficaz e interligada.

Esse conceito de Logística 4.0 se insere em uma ideia mais ampla que é o da indústria 4.0. O conceito de Indústria 4.0, segundo Morrar, Arman e Mousa (2017, p.13, tradução nossa) “[...] tem origem na Alemanha e foi reconhecido por outras nações industriais líderes, embora seja conhecido como Empresa Conectada nos EUA e como Quarta Revolução Industrial no Reino Unido.”

A expressão "Indústria 4.0" foi cunhada para simbolizar a quarta revolução industrial, marcando uma evolução significativa nos métodos de produção. Cada uma das revoluções industriais anteriores trouxe transformações impactantes: a primeira introduziu a mecanização, a segunda trouxe a eletrificação e a produção em massa, enquanto a terceira trouxe a automação e a computadorização. A Indústria 4.0, por sua vez, representa a fusão das tecnologias físicas, digitais e biológicas. A figura 1 apresenta as 4 fases do processo evolutivo da indústria.

Figura 1: 4 fases do processo evolutivo da indústria



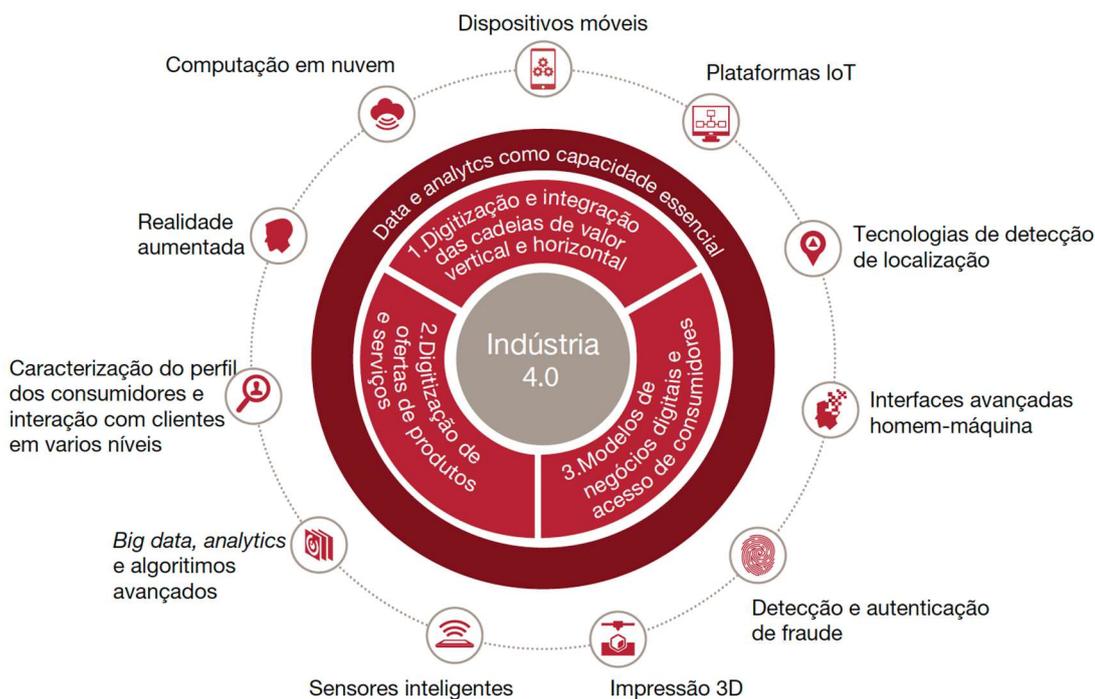
Fonte: Adaptado de PWC (2016, p.8)

Dentro desse cenário evolutivo, a Indústria 4.0 é definida pela incorporação da Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, Computação em Nuvem e outras tecnologias nas atividades industriais. O objetivo é estabelecer fábricas inteligentes, nas quais os sistemas estão interligados e têm capacidade para decisões autônomas. Esse avanço resulta em melhorias substanciais em eficiência, produtividade, qualidade e inovação.

Para Moraes, Maria e Oliveira (2021), o conceito central da Indústria 4.0 é viabilizar uma produção extremamente flexível e personalizada, respondendo em tempo real às demandas particulares dos consumidores. A digitalização e a automação avançada não só proporcionam uma produção mais eficaz, mas também otimizam toda a cadeia de valor, desde os fornecedores até os consumidores finais.

É nesse ambiente disruptivo da indústria mundial que surge a Logística 4.0. A Logística 4.0 é uma estratégia que incorpora a aplicação de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Aprendizado de Máquina (Machine Learning), Análise de Dados e outras tecnologias digitais colaborativas. Por meio dessas inovações, é viável capturar e analisar grandes volumes de dados em tempo real, capacitando as empresas a tomar decisões mais precisas e embasadas em informações atualizadas. A figura 2 apresenta alguns exemplos de tecnologias digitais colaborativas.

Figura 2: tecnologias digitais colaborativas



Fonte: PWC (2016, p.2)

As tecnologias digitais colaborativas estão promovendo uma grande transformação na indústria da logística, fomentando integração e coordenação eficazes ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Essas inovações abrangem uma ampla variedade de ferramentas e plataformas que facilitam a colaboração e comunicação entre os diversos intervenientes do processo logístico, que incluem fornecedores, transportadoras, armazéns, varejistas e clientes finais.

A logística 4.0 é uma tendência global, com benefícios e desafios a serem enfrentados. Este estudo busca identificar quais os benefícios e as principais barreiras para sua plena utilização.

A ligação entre a indústria 4.0 e a logística 4.0 é defendida por Erdil (2023, p.410, tradução nossa) ao afirmar que “a logística 4.0 faz parte da indústria 4.0 e apoiará o desenvolvimento da Indústria 4.0. É claro que não existe Indústria 4.0 sem logística 4.0”. Para Corrêa (2019, p .9), “enquanto a Indústria 4.0 propõe uma mudança disruptiva na manufatura, a Logística 4.0 preconiza uma transformação na forma como as organizações compram, fabricam, vendem e entregam produtos”. Porém, as práticas de logística 4.0 estão intrinsecamente ligadas a soluções inovadoras e com grandes desafios que precisam ser gerenciados pelas logísticas das empresas. Mas, apesar das dificuldades, a logística 4.0 pode trazer uma série de benefícios para o setor.

2 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

A abordagem da pesquisa é a perspectiva a partir da qual o pesquisador irá compreender o problema de sua pesquisa. Esse estudo terá uma abordagem de pesquisa qualitativa, ou seja, é aquela que segundo Silva et al. (2018, p.21) “[...] tem raízes no final do século XIX. Foi na área das Ciências Sociais que primeiro se questionou a adequação do modelo vigente de ciência aos propósitos de estudar o ser humano, sua cultura e vida social.”

A abordagem de pesquisa desse estudo é bibliográfica, pois se baseia na análise de material já publicado, como livros, artigos científicos, relatórios, etc. A pesquisa bibliográfica é caracterizada, portanto, como o “[...] estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral” (Vergara, 2000, p. 46).

Quanto aos objetivos, a pesquisa se classifica em descritiva. Para Gil (2008, p.47), a finalidade da pesquisa descritiva é a “[...] descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis.”

3 BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS COLABORATIVAS PARA A LOGÍSTICA

As tecnologias colaborativas trazem uma série de benefícios para a logística. Algumas dessas benefícios serão apresentadas a seguir.

- **Eficiência operacional aprimorada:** a incorporação de tecnologias de ponta, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e automação, viabiliza uma administração dos recursos mais eficaz, resultando na otimização de procedimentos, na diminuição dos tempos de ciclo e na minimização de desperdícios. Para Soori, Arezoo e Dastres (2023), a Internet das Coisas (IoT) pode ser usada para conectar dispositivos e sensores no processo logístico, permitindo rastreamento e monitoramento em tempo real de bens e ativos. Isso pode ajudar a melhorar a precisão e a eficiência das operações logísticas. A utilização da Inteligência Artificial (IA) para analisar vastos volumes de dados e oferecer *insights* pode ser um impulso para otimizar as operações logísticas. Essa aplicação contribui para aprimorar a velocidade e a eficiência dos processos logísticos (Nour, 2022). Além de IoT e IA,

outros elementos também ajudam na eficiência da logística, como a robótica, que pode ser usada para automatizar tarefas repetitivas e manuais no processo logístico, como coleta e embalagem, o blockchain, que pode ser usado para criar um registro seguro e transparente de transações no processo logístico, o que pode ajudar a melhorar a rastreabilidade e a responsabilização de bens e ativos, a computação em nuvem, que pode ser usada para armazenar e processar grandes quantidades de dados no processo logístico, permitindo acesso em tempo real a informações e análises (Freitas; Fraga; Souza, 2016).

- **Visibilidade e rastreabilidade:** a logística 4.0 amplia a transparência ao longo da cadeia de suprimentos, permitindo o rastreamento em tempo real dos produtos, um elemento crucial para decisões embasadas e o gerenciamento proativo de eventos inesperados. O aumento da visibilidade e rastreabilidade ao longo da cadeia logística somente será possível, na opinião de Albrecht et al. (2023), com o aumento da digitalização dos processos logísticos, considerando que IoT pode ser usada para conectar dispositivos e sensores ao longo do processo logístico, permitindo rastreamento e monitoramento em tempo real de bens e ativos. Isso pode ajudar a melhorar a precisão e a eficiência das operações logísticas. Outros fatores tecnológicos para aumentar a visibilidade e a rastreabilidade são, segundo Spieske e Birkel (2021) e Hassoun et al. (2023) a análise de grandes quantidades de dados através de big data, ajudando os gestores na velocidade e a eficiência das operações logísticas e o Blockchain pode ser usado para criar um registro seguro e transparente de transações no processo logístico, o que pode ajudar a melhorar a rastreabilidade e a responsabilização de bens e ativos.

- **Tomada de decisões baseadas em dados:** a captura e análise em tempo real de grandes volumes de dados possibilitam decisões mais ágeis e precisas, embasadas em informações concretas, impulsionando a eficiência operacional. Com o uso de big data para analisar grandes quantidades de dados e fornecer dados mais consistentes, as decisões sobre as operações logísticas pode ficar mais consistentes, ajudando não só na velocidade, mas na eficiência das decisões operações logísticas. Associado ao big data, o aprendizado de máquina pode representar uma ferramenta disruptiva usada para analisar dados e identificar padrões que podem ajudar a otimizar as decisões das operações logísticas. Isso pode ajudar a melhorar a velocidade e a eficiência das operações logísticas (Bousdekis et al., 2021).

- **Flexibilidade e adaptabilidade:** com a introdução das novas tecnologias da indústria 4.0, as operações logísticas adquirem maior flexibilidade, permitindo adaptações rápidas diante de variações nas condições de mercado, demanda do consumidor ou outros fatores, assegurando uma resposta ágil às flutuações do cenário mercadológico. Para Albrecht et al. (2023), a integração de tecnologias digitais na Logística 4.0 pode viabilizar a satisfação sustentável e econômica das novas demandas do mercado, focando em operações logísticas ágeis, flexíveis e centradas no cliente. A logística 4.0 é caracterizada por sua capacidade de otimizar tempo e recursos, rastreabilidade da cadeia, segurança e integridade de dados, bem como interoperabilidade adequada entre diferentes atores humanos e digitais (Sirino, 2021).

- **Redução de custos:** a automação e otimização provenientes da Logística 4.0 contribuem para a diminuição dos custos operacionais, seja através da eficiência energética, redução de erros ou da melhor utilização dos recursos disponíveis. Para Aliche, Rachor e Seyfert (2016, p.1, tradução nossa), é esperado uma redução de “[...] custos operacionais até 30% mais baixos e uma redução de 75% nas vendas perdidas, ao mesmo tempo que se espera uma diminuição dos inventários em até 75% [...]”. Apesar dos ganhos advindos da automação no setor de transportes, que englobam desde a otimização dos prazos de entrega até a redução dos custos operacionais, essa inovação tecnológica na indústria 4.0 traz desafios ao mercado de trabalho global. Isso ocorre porque os veículos automatizados não necessitam de pausas, operam durante a noite e não tiram férias, fatores que reduzem os custos de manutenção desses equipamentos (Sirino, 2021). Com a introdução de todo aparato tecnológico da logística 4.0, a área de logística das empresas poderá gerar economia com a conectividade, especialmente dos equipamentos que terão acompanhamento em tempo real e com manutenção apropriada resultando em economia de custos e na extensão de suas vidas úteis (Pacheco; Reis, 2020).

- **Atendimento aprimorado ao cliente:** a rapidez e precisão na entrega de produtos, combinadas com a personalização e flexibilidade viabilizadas pela Logística 4.0, desempenham um papel crucial na satisfação dos clientes e em proporcionar uma experiência de compra positiva. Para Barleta, Pérez e Sánchez (2019), a Logística 4.0 tem o potencial de aprimorar a excelência dos serviços ao otimizar o tempo e os recursos, garantindo a rastreabilidade da cadeia e assegurando a segurança e integridade dos dados. Esse avanço pode contribuir significativamente para elevar a satisfação do cliente ao proporcionar serviços logísticos de alta qualidade. Para

Albrecht et al. (2023, p.2, tradução nossa), a “[...] logística 4.0 permite a satisfação sustentável e econômica das novas demandas do mercado de cadeias de suprimentos e logística orientadas para o cliente, individualizadas e mais responsivas [...]”. Esses fatores ajudam a melhorar a satisfação do cliente, atendendo às suas necessidades e preferências específicas. Além disso, a logística 4.0 permite o rastreamento e o monitoramento em tempo real de mercadorias e ativos por meio da IoT, permitindo que as operações logísticas forneçam aos clientes informações precisas e atualizadas sobre suas entregas (Jamkhaneh; Shahin; Tortorella, 2022). Essas informações ajudam a melhorar a satisfação do cliente, proporcionando-lhes transparência e visibilidade do processo logístico.

- **Sustentabilidade:** a melhoria na eficiência proporcionada pela logística 4.0 resulta em uma diminuição do consumo de recursos naturais, na redução das emissões de carbono e, por conseguinte, promove práticas logísticas mais sustentáveis e benéficas para o meio ambiente. Para Ferraro et al. (2023), a Logística 4.0 pode influenciar de maneira sustentável ao diminuir despesas, aprimorar a eficiência e eficácia, reduzir o uso de energia e combustíveis, aperfeiçoar a administração de recursos e resíduos, além de elevar as condições laborais e a segurança dos profissionais. Isso pode desempenhar um papel fundamental na promoção da sustentabilidade nas operações logísticas. A digitalização facilitada por tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e dispositivos móveis encurta o tempo requerido para executar diversas tarefas, como a entrada e o armazenamento de produtos. Isso resulta na diminuição das horas de trabalho e na economia de energia nas instalações das logísticas das empresas. A implementação de tecnologias disruptivas pode acarretar diversos benefícios ambientais, principalmente no que diz respeito aos processos de transporte e distribuição. Alguns desses benefícios incluem: a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, o aprimoramento da eficiência energética e da disseminação de produtos sustentáveis, a redução da geração de resíduos, o fortalecimento das iniciativas de logística reversa e a capacidade ampliada das empresas para implementar os 10Rs - recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (Rodrigues, 2023).

- **Inovação contínua:** a Logística 4.0 fomenta a inovação contínua, possibilitando que as empresas adotem e integrem constantemente novas tecnologias e melhores métodos, mantendo-se competitivas em um cenário em constante

mutação. Para Albrecht (2023), a Logística 4.0 incorpora tecnologias disruptivas, como IoT, análise de big data e blockchain, que podem permitir que as operações logísticas sejam mais inovadoras e respondam às mudanças nas demandas do mercado. Para Sharma (2018), a Logística 4.0 promove uma rede inteligente de produtos e processos ao longo de toda cadeia de valor, tornando as operações logísticas mais inovadoras e eficientes. Bansal (2018, p. 1, tradução nossa) defende que a logística 4.0 não é um processo que possa ser “[...] planejado de uma só vez e mantido da mesma forma para sempre. Está aprendendo consistentemente, adaptando-se consistentemente aos novos requisitos e, portanto, é implementado de forma consistente”. Portanto, a Logística 4.0 impulsiona a constante inovação nas operações logísticas. A integração de tecnologias disruptivas, redes inteligentes, transformação digital, aprendizagem e adaptação contínuas, além da otimização de elementos-chave da logística, pode efetivamente promover uma constante inovação nas operações logísticas por meio da Logística 4.0.

Percebe-se que esses benefícios auxiliam as organizações a se ajustarem ao cenário volátil do mercado, conferindo-lhes uma considerável vantagem competitiva e assegurando operações logísticas mais ágeis, eficazes e alinhadas às expectativas dos consumidores. Porém, assim como existem vários benefícios com a implementação da logística 4.0, várias dificuldades podem estar associadas à sua implementação.

4 DIFICULDADES PARA IMPLAMENTAR A LOGÍSTICA 4.0

O processo de implantação da logística 4.0 pode enfrentar uma série de dificuldades operacionais, que podem criar algumas adversidades para a área de logística, entre as quais podem ser destacadas as seguintes.

- **Custos iniciais elevados:** a incorporação de tecnologias avançadas e a infraestrutura demandada para a logística 4.0 podem exigir aportes significativos, representando um desafio para muitas organizações, especialmente as de menor porte. Para Silva, Frederico e Garza-Reyes (2023, p. 13, tradução nossa), “o investimento inicial em TI avançada no setor logístico é frequentemente elevado”. Para eles, esse investimento inclui não só o custo de aquisição da tecnologia (compra ou desenvolvimento) mas também os custos relacionados com a sua implementação,

incluindo custos de transição, onde estas novas tecnologias são integradas na logística da empresa, custos de manutenção e custos relacionados com suporte técnico e formação de pessoal. Esses custos iniciais podem representar uma barreira significativa à entrada de algumas empresas e de suas logísticas. Segundo Gangani (2021), a logística 4.0 exige uma transformação digital das operações logísticas, que pode ser dispendiosa e demorada. Isto pode ser um desafio significativo para as empresas de logística que não estão preparadas para essa transformação digital dispendiosa. De maneira geral, a introdução de tecnologias avançadas e da infraestrutura essencial para a logística 4.0 pode resultar em custos iniciais substanciais decorrentes da necessidade de altos investimentos, considerando o impacto e os critérios sustentáveis, a transformação digital, as rápidas variações na demanda e a eliminação de custos de produção supérfluos, todos contribuindo para a elevação dos custos iniciais associados à adoção das tecnologias da logística 4.0.

- **Falta de conhecimento e capacitação:** a falta de um conhecimento abrangente sobre as tecnologias da logística 4.0 e a falta das competências necessárias para sua implementação e operação representam obstáculos recorrentes. Para Tubis e Grzybowska (2022), a falta de compreensão das soluções que respaldam a Indústria 4.0 e a logística 4.0 pode representar uma barreira substancial para a adoção por parte de algumas empresas logísticas. Isso pode dificultar a implementação, pelas empresas logísticas, das novas tecnologias e infraestruturas indispensáveis para a logística 4.0. A falta de conhecimento dos colaboradores da logística pode representar um obstáculo para a adoção das tecnologias disruptivas da logística 4.0, abrangendo aspectos como a qualidade e o gerenciamento dos dados, bem como a lacuna de entendimento dentro da organização. Isso pode tornar desafiador para as empresas de logística otimizar suas operações e aprimorar sua eficiência (Silva et al., 2021).

- **Integração de diferentes sistemas:** a harmonização eficiente de sistemas e tecnologias variadas é um desafio, uma vez que muitas organizações já possuem sistemas legados que necessitam ser integrados à nova infraestrutura tecnológica. Para Malagón-Suárez e Orjuela-Castro (2023), o sucesso na implementação da logística 4.0 está atrelado à habilidade das empresas de adquirir conhecimento, não se limitando apenas à incorporação de tecnologia avançada. A escassez de conhecimento e das habilidades necessárias para implementar novas tecnologias e infraestruturas pode representar um desafio considerável para o êxito da integração

dos diferentes sistemas necessários para o funcionamento da logística 4.0. A falta de interoperabilidade (capacidade de diversos sistemas trabalharem em conjunto - interoperar) entre os diversos sistemas de uma empresa pode representar um desafio considerável na implementação da logística 4.0. Isso pode tornar a integração dos variados sistemas e infraestruturas indispensáveis para a logística 4.0 um desafio para as áreas de logística de qualquer empresa (Barleta; Pérez; Sánchez, 2019).

- **Resistência à mudança:** a resistência dos colaboradores em adotar novas tecnologias e modificar processos consolidados pode representar um obstáculo significativo para o sucesso da implantação da logística 4.0. A adesão e o comprometimento dos funcionários são cruciais para o êxito da implementação. A resistência por parte dos colaboradores pode surgir quando não compreendem por que uma tecnologia disruptiva, como a adotada na logística 4.0, está sendo implementada ou utilizada na organização. Isso pode ser superado por meio de programas de comunicação e treinamento eficazes, que auxiliem os funcionários a entender os benefícios e o propósito das novas tecnologias (Ito et al., 2021). Os funcionários podem resistir à adoção de novas tecnologias se sentirem que estão sendo excessivamente monitorados ou que sua autonomia está sendo comprometida. Portanto, é crucial que as organizações encontrem um equilíbrio entre o uso da tecnologia para melhorar a eficiência e a manutenção de um ambiente de trabalho positivo. Para superar a resistência, é essencial que os funcionários compreendam como as novas tecnologias se alinham com os valores e objetivos da organização. Além disso, alguns funcionários podem hesitar em adotar essas tecnologias por falta de habilidades ou conhecimento. Eles também podem temer que as novas tecnologias substituam seus empregos ou aumentem sua carga de trabalho. As organizações podem abordar essas preocupações envolvendo os trabalhadores no processo de implementação, oferecendo garantias de segurança no emprego e garantindo que as novas tecnologias sejam projetadas para apoiar os funcionários em seu trabalho. Isso pode ajudar a mitigar a resistência e promover uma transição suave para a Logística 4.0 (Ito et al., 2021).

- **Segurança de dados e privacidade:** com a crescente digitalização, a segurança cibernética e a proteção da privacidade dos dados emergem como questões críticas que demandam uma abordagem eficaz. Para Kodym, Kubáč e Kavka (2020), o princípio fundamental da logística 4.0 está ligado à transparência dos processos e dos dados. Contudo, existe uma preocupação quanto ao risco de que o

aumento da transparência dos dados na cadeia de abastecimento possa ser explorado em detrimento das partes envolvidas, como na negociação de preços ou outras condições comerciais com base no conhecimento de informações cruciais. Para extrair valor dos dados e possibilitar análises eficazes, é essencial que os dados sejam mantidos em um padrão que assegure qualidade e consistência, demandando a adoção de padrões unificados em várias funções. A definição clara de interfaces, especialmente nas interações entre empresas, assume uma importância crítica para o sucesso da implementação das tecnologias na Logística 4.0 (Kodym; Kubáč; Kavka, 2020). A tecnologia blockchain, com sua habilidade de aprimorar a entrega, rastreamento e coordenação de produtos, tem o potencial de desempenhar um papel fundamental na futura integração da logística 4.0. As vantagens de manter registros digitais por meio do blockchain podem aprimorar a logística conectada, automatizando transações e permitindo a confidencialidade (Cheung; Bell; Bhattacharjya, 2021). A implementação de plataformas e tecnologias da Indústria 4.0 deve ser complementada por medidas de segurança cibernética robustas, visando à proteção contra possíveis ataques cibernéticos. Isso envolve a avaliação e a mitigação de ameaças que afetam a computação em nuvem, a Internet das Coisas (IoT) e os sistemas de comunicação sem fio (Sobb; Turnbull; Moustafa, 2020).

- **Adequação regulatória:** a legislação e as regulamentações frequentemente não conseguem manter o passo com o ritmo das inovações tecnológicas, o que pode criar incertezas legais e regulatórias em relação à adoção da logística 4.0. A Logística 4.0 é impulsionada pela integração de tecnologias inovadoras, como computação em nuvem, informações de tráfego em tempo real e soluções de logística inteligente. Essas tecnologias podem ter um impacto substancial na competitividade e produtividade da economia, o que gera desafios regulatórios significativos para os governos (Barleta; Pérez; Sánchez, 2019). A ascensão da logística 4.0 demanda a revisão das regulamentações existentes para abordar os desafios e oportunidades que ela apresenta. Por exemplo, a integração de novas tecnologias no setor logístico pode exigir a criação de novas regulamentações para garantir a segurança, a privacidade e a conformidade com as leis em vigor. Entretanto, o processo de desenvolvimento e implementação dessas mudanças regulatórias pode ser demorado e complexo, acrescentando ainda mais incertezas no âmbito jurídico e regulamentar (Deloitte, 2018).

- **Ampla escala de dados e análise:** lidar com a imensa quantidade de dados gerados na Logística 4.0 e extrair informações valiosas deles é uma tarefa desafiadora, sobretudo quando se trata de análise de big data em tempo real. A Logística 4.0 produz enormes volumes de dados provenientes de diversas fontes, como sensores, GPS e etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification* - Identificação por Radiofrequência). Esses dados podem ser complexos de administrar e analisar, demandando o uso de ferramentas avançadas de gestão e análise de dados (Silva et al., 2021). Garantir a qualidade dos dados gerados na logística 4.0 pode ser desafiador, uma vez que esses dados podem ser carentes de informações, inconsistentes ou imprecisos. Isso pode dificultar a obtenção de informações valiosas a partir dos dados. Para extrair *insights* significativos das vastas quantidades de dados gerados na logística 4.0, é necessário recorrer a ferramentas e técnicas avançadas de análise de dados, como mineração de dados e aprendizado de máquina. No entanto, essas ferramentas demandam competências e conhecimentos especializados, que por vezes são escassos (Barzizza et al., 2023). Além disso, a logística 4.0 pode envolver a integração de dados de diversas fontes, tais como fornecedores, fabricantes e prestadores de serviços logísticos, podendo representar um grande desafio para a área de logística, pois os dados podem estar em diferentes formatos e armazenados em diferentes sistemas (Albrecht et al., 2023).

Assim, para superar esses desafios, é necessário adotar uma abordagem abrangente, que englobe investimentos estratégicos, treinamento apropriado, estratégias eficazes de gestão da mudança e colaboração com especialistas para lidar com questões de segurança e regulamentações. Além disso, manter-se atualizado sobre as tendências e inovações em constante evolução na área da logística 4.0 é fundamental para assegurar uma implementação bem-sucedida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A logística 4.0 representa uma inovação na gestão da cadeia de suprimentos, fazendo uso de tecnologias avançadas, tais como inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (ML) e análise de grandes volumes de dados (big data) com o propósito de aprimorar a eficiência, a visibilidade e a flexibilidade da cadeia de suprimentos.

Na Logística 4.0, as tecnologias mais avançadas permitem uma compreensão mais abrangente da cadeia de suprimentos e embasam a tomada de decisões mais fundamentadas e precisas.

Entretanto, a implementação da logística 4.0 também traz consigo desafios. A incorporação de novas tecnologias demanda investimentos substanciais em infraestrutura, capacitação de pessoal e garantia da segurança de dados. Além disso, a integração de sistemas legados com tecnologias modernas pode se mostrar uma tarefa complexa. Não obstante, os benefícios de uma logística mais inteligente e conectada superam essas dificuldades, uma vez que a logística 4.0 oferece a oportunidade de aprimorar a competitividade, eficiência e sustentabilidade das operações logísticas.

Portanto, a logística 4.0 representa uma transformação significativa na maneira como as empresas administram suas operações na cadeia de suprimentos. Por meio da integração de tecnologias digitais, automação e colaboração, essa abordagem visa estabelecer uma logística mais inteligente, ágil e eficiente. Ao adotar a logística 4.0, as empresas têm a chance de se destacar em um mercado crescentemente competitivo e proporcionar aos clientes uma experiência logística mais eficaz e satisfatória.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, Tobias et al. Leveraging Digital Technologies in Logistics 4.0: insights on affordances from intralogistics processes. **Information Systems Frontiers**, p. 1-20, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-023-10394-6>. Acesso em: 10 out. 2023.

ALICKE, Knut; RACHOR, Jürgen; SEYFERT, Andreas. **Supply Chain 4.0** - the next-generation digital supply chain. [S.l.]: McKinsey & Company, 2016. Disponível em: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/supply-chain-40--the-next-generation-digital-supply-chain#/. Acesso em: 10 out. 2023.

BANSAL, Surghi. **How does logistics 4.0 works?** [S.l.]: LinkedIn, 2018. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/how-does-logistics-40-works-surbhi-bansal?trk=public_profile_article_view. Acesso em: 16 out. 2023.

BARLETA, Eliana P.; PÉREZ, Gabriel; SÁNCHEZ, Ricardo J. Industry 4.0 and the emergence of logistics 4.0. **Bulletin 375 CEPAL**, n. 7, 2019. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/b5b219d2-c4dc-49ee-b9f2-20446556aab9/content>. Acesso em: 11 out. 2023.

BARZIZZA, Elena et al. Big Data Analytics and Machine Learning in Supply Chain 4.0: A Literature Review. **Stats**, v. 6, n. 2, p. 596-616, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-905X/6/2/38>. Acesso em: 19 out. 2023.

BOUSDEKIS, Alexandros et al. A review of data-driven decision-making methods for industry 4.0 maintenance applications. **Electronics**, v. 10, n. 7, p. 828, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/7/828>. Acesso em: 10 out. 2023.

CHEUNG, Kam-Fung; BELL, Michael GH; BHATTACHARJYA, Jyotirmoyee. Cybersecurity in logistics and supply chain management: An overview and future research directions. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 146, p. 102217, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554520308590>. Acesso em: 19 out. 2023.

CORRÊA, JOBEL SANTOS. **Logística 4.0**: um estudo exploratório sobre tecnologias emergentes. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2019. Disponível em: <https://repositorio-api.fei.edu.br/server/api/core/bitstreams/5146793b-a09c-43f1-8bd6-875210f8f968/content>. Acesso em: 10 out. 2023.

DELOITTE. **The Fourth Industrial Revolution is here - are you ready?** London: Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2018. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/Industry4-0_Are-you-ready_Report.pdf. Acesso em: 19 out. 2023.

ERDİL, Ayşenur. The Importance of Logistics 4.0 within the Scope of Industry 4.0: Evaluation of Logistics 4.0 in an Enterprise in Terms of Sustainability. **International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches**, v. 7, n. 6, p. 410-422, 2023. Disponível em: <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/view/1181>. Acesso em: 10 out. 2023.

FERRARO, Saverio et al. Sustainable Logistics 4.0: A Study on Selecting the Best Technology for Internal Material Handling. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7067, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7067>. Acesso em: 11 out. 2023.

FREITAS, Matheus Menna Barreto Cardoso de; FRAGA, Manoela Adriana de Farias; SOUZA, Gilson PL de. Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade: uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. **Caderno PAIC**, v.17, n. 1, p. 237-261, 2016. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.emnuvens.com.br/cadernopaic/article/view/214>. Acesso em: 10 out. 2023.

GANGANI, Yesha. **Logistics 4.0**: the future of supply chain and logistics. [S.l.]: Scalefusion, 2021. Disponível em: <https://blog.scalefusion.com/logistics-4-0-the-future-of-supply-chain/>. Acesso em: 17 out. 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HASSOUN, Abdo et al. Implementation of relevant fourth industrial revolution innovations across the supply chain of fruits and vegetables: A short update on Traceability 4.0. **Food Chemistry**, v. 409, p. 135303, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622032654>. Acesso em: 10 out. 2023.

ITO, Adriana et al. Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 9, p. 285-303, 2021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-12-2020-0475/full/html>. Acesso em: 19 out. 2023.

JAMKHANEH, Hadi Balouei; SHAHIN, Reza; TORTORELLA, Guilherme Luz. Analysis of Logistics 4.0 service quality and its sustainability enabler scenarios in emerging economy. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 4, p. 100053, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772390922000269>. Acesso em: 11 out. 2023.

KODYM, Oldřich; KUBÁČ, Lukáš; KAVKA, Libor. Risks associated with Logistics 4.0 and their minimization using Blockchain. **Open Engineering**, v. 10, n. 1, p. 74-85, 2020. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/eng-2020-0017/html>. Acesso em: 19 out. 2023.

MALAGÓN-SUÁREZ, Camila Patricia; ORJUELA-CASTRO, Javier Arturo. Challenges and Trends in Logistics 4.0. **Ingeniería**, v. 28, 2023. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=challenges+e+trends+in+logistics+4.0&btnG=. Acesso em: 18 out. 2023.

MORAIS, Marcos de Oliveira; MARIA, Diogo Fernando; OLIVEIRA, Leandro Marcelino de. A Inovação e a Indústria 4.0: Proposta para utilização de elementos para uma organização competitiva. **Research, Society and Development**, v. 10, n.8, p. e51210817685-e51210817685, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17685>. Acesso em: 10 out. 2023.

MORRAR, Rabeh; ARMAN, Husam; MOUSA, Saeed. The fourth industrial revolution (Industry 4.0): A social innovation perspective. **Technology innovation management review**, v. 7, n. 11, p. 12-20, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/6d54/724adc2461105a3b37fc1e9bf848c2a0ba97.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

NOUR, Redhwan. Enhancing the Logistics 4.0 firms through information technology. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 15860, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/23/15860>. Acesso em: 10 out. 2023.

SCHMIDT, P.; SCHMIDT, A. P. Logística 4.0. **RGSN - Revista Gestão, Sustentabilidade e Negócios**, Porto Alegre, número especial 1, p. 49-66, nov. 2023.

PACHECO, Tiago Resende; REIS, João Gilberto Mendes. A logística 4.0 no Agronegócio. **South American Development Society Journal**, v. 6, n. 17, p. 392, 2020. Disponível em: <http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/327>. Acesso em: 11 out. 2023.

PWC BRASIL. **Indústria 4.0**: digitalização como vantagem competitiva no Brasil. São Paulo: PWC, 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

RODRIGUES, Nayra Vasiulis Ferreira. **Logística 4.0 e sustentabilidade**: análise das práticas, benefícios e desafios em prestadores de serviços logísticos. Dissertação (Mestrado em Administração). – Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSC, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/18364/Dissertação%20Nayra%20Rodrigues.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2023.

SHARMA, Jyoti. **Industry 4.0 effects Logistics 4.0**. Newcastle (UK): Institute of Supply Chain Management, 2018. Disponível em: <https://www.ioscm.com/blog/industry-4-0-effects-logistics-4-0/>. Acesso em: 16 out. 2023.

SILVA, Rodrigo Olhiara et al. Uso de drones em procedimentos criminais. **Revista de Doutrina Jurídica**, v. 108, n. 1, p. 89-100, 2016.

SILVA, Ricardo Moreira da; FREDERICO, Guilherme Francisco; GARZA-REYES, Jose Arturo. Logistics Service Providers and Industry 4.0: A Systematic Literature Review. **Logistics**, v. 7, n. 1, p. 11, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/1/11>. Acesso em: 17 out. 2023.

SILVA, Nuno et al. Advancing logistics 4.0 with the implementation of a big data warehouse: a demonstration case for the automotive industry. **Electronics**, v. 10, n.18, p. 2221, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/18/2221>. Acesso em: 17 out. 2023.

SIRINO, Rodrigo da Cruz. A logística 4.0 e as implicações para o mercado de trabalho do setor logístico. **Anais do XII FATECLOG**. Mogi das Cruzes: Fatec, 2021. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/14252>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOBB, Theresa; TURNBULL, Benjamin; MOUSTAFA, Nour. Supply chain 4.0: A survey of cyber security challenges, solutions and future directions. **Electronics**, v.9, n. 11, p. 1864, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/11/1864>. Acesso em: 19 out. 2023.

SCHMIDT, P.; SCHMIDT, A. P. Logística 4.0. **RGSN - Revista Gestão, Sustentabilidade e Negócios**, Porto Alegre, número especial 1, p. 49-66, nov. 2023.

SOORI, Mohsen; AREZOO, Behrooz; DASTRES, Roza. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345223000275>. Acesso em: 10 out. 2023.

SPIESKE, Alexander; BIRKEL, Hendrik. Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. **Computers & Industrial Engineering**, v. 158, p. 107452, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221003569>. Acesso em: 10 out. 2023.

TUBIS, Agnieszka A.; GRZYBOWSKA, Katarzyna. 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. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/22/8595>. Acesso em: 17 out. 2023.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2000.