Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities
v. 2, n. 1, p. 38-52 (2025)

Journal website: https://mobicities.com

ARTIGO ORIGINAL

Automação Logística, IA e Indústria 4.0: Considerações Éticas em um Cenário de Inovação Tecnológica

Logistics Automation, AI, and Industry 4.0: Ethical Considerations in a Technological Innovation Scenario

Márcio José Padovan de Antônio[1], Joel Porto Alves[2*], Dircelene Teixeira do Nascimento[3], Mírian Cristina de Moura Garrido[4]

Avaliação: *Double Blind Review* (043/OJS)
Recebido: 31/12/2024 Aceito: 14/02/2025

Palavras-chave: Automação Logística; Inteligência Artificial; Indústria 4.0; Ética algorítmica.

Resumo: Este artigo explora a interseção entre Logística, Indústria 4.0 e Inteligência Artificial (IA), destacando como as tecnologias avançadas têm transformado processos logísticos e aumentado a eficiência. A pesquisa, conduzida por meio de uma revisão sistemática da literatura, analisou padrões e temáticas significativas relacionadas às implicações éticas da automação logística no contexto da Indústria 4.0. Os resultados apontam que a crescente adoção de sistemas ciberfísicos e algoritmos automatizados em operações logísticas levanta questões críticas sobre governança ética, responsabilidade algorítmica e privacidade de dados. Identificaram-se três eixos temáticos principais: governança ética e responsabilidade algorítmica, impacto social da automação sobre os trabalhadores, e privacidade e segurança de dados. Evidenciou-se que, embora a automação traga benefícios como maior eficiência e precisão, ela também intensifica desafios éticos, como a substituição de trabalhadores, a precarização do trabalho, e os riscos associados à transparência e segurança de dados. O estudo conclui que a implementação responsável dessas tecnologias exige políticas de governança ética robustas, auditorias regulares e práticas que promovam a inclusão e a equidade, assegurando que o progresso tecnológico esteja alinhado com valores sociais e humanos.

Keywords: Logistics Automation; Artificial Intelligence; Industry 4.0; Algorithmic Ethics.

Abstract: This article explores the intersection between Logistics, Industry 4.0, and Artificial Intelligence (AI), highlighting how advanced technologies have transformed logistics processes and increased efficiency. The research, conducted through a systematic literature review, analyzed patterns and significant themes related to the ethical implications of logistics automation in the context of Industry 4.0. The results indicate that the growing adoption of cyber-physical systems and automated algorithms in logistics operations raises critical issues concerning ethical governance, algorithmic accountability, and data privacy. Three main thematic axes were identified: ethical governance and algorithmic accountability, the social impact of automation on workers, and data privacy and security. It was evidenced that, although automation brings benefits such as greater efficiency and accuracy, it also intensifies ethical challenges, such as worker displacement, job precarization, and risks associated with transparency and data security. The study concludes that the responsible implementation of these technologies requires robust ethical governance policies, regular audits, and practices that promote inclusion and equity, ensuring that technological progress aligns with social and human values.

URL: https://mobicities.com/index.php/path/article/view/43/Artigo_3
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14889814

[1] Universidade Paulista - UNIP, e-mail: marcio.jpadovan.oficial@hotmail.com, Orcid: https://orcid.org/0009-0000-1954-1665
[2*] Autor correspondente: Universidade Paulista - UNIP, e-mail: joelp_alves@hotmail.com, Orcid: https://orcid.org/0009-0000-9220-3371
[3] Universidade de Taubaté - Unitau, e-mail: dircenasc@hotmail.com, Orcid: https://orcid.org/0009-0002-6580-5224
[4] Universidade de Taubaté - Unitau, e-mail: miriangarrido@hotmail.com, Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0995-0489

1. Introdução

A Quarta Revolução Industrial, representada pela Indústria 4.0, caracteriza-se pela integração de sistemas ciberfísicos e tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e automação avançada. Essa revolução tecnológica tem transformado processos produtivos, operações fabris e serviços, promovendo a digitalização, a interconexão de sistemas e a automação de tarefas. A busca por maior eficiência tem sido um dos principais impulsionadores da adoção dessas tecnologias, visando a otimização da produção, a redução de custos operacionais e o aumento da competitividade em setores como manufatura, cadeia de suprimentos e logística (Abdirad & Krishnan, 2020). Segundo Rajkumar et al. (2010), a integração de sistemas ciberfísicos redefine as dinâmicas industriais e impulsiona a interconexão entre o mundo físico e digital, promovendo maior eficiência e inovação.

A automação e o uso de IA têm sido particularmente relevantes na otimização logística, permitindo desde a automação de tomadas de decisão até a previsão de falhas e otimização de rotas (Woschank, Rauch & Zsifkovits, 2020; Winkelhaus & Grosse, 2019). No entanto, apesar dos avanços tecnológicos, o uso crescente de sistemas autônomos levanta desafios críticos, especialmente no que diz respeito à interação entre seres humanos e máquinas. Taddeo e Floridi (2018) destacam que a relação homem-máquina está no centro de debates éticos, envolvendo questões como transparência, responsabilidade pelas decisões automatizadas e impacto nas relações de trabalho. Embora a automação seja amplamente reconhecida por sua eficiência, também suscita preocupações relacionadas à privacidade de dados, ao controle sobre sistemas inteligentes e à atribuição de responsabilidade em casos de falhas tecnológicas (Bigman et al., 2022; Coeckelbergh, 2019).

A crescente coleta massiva de dados para alimentar algoritmos decisórios intensifica a necessidade de abordagens éticas e regulatórias eficazes. Morožov (2018) ressalta que a segurança da informação e a proteção de dados não são apenas uma necessidade operacional, mas também um imperativo ético e legal para garantir que o avanço tecnológico não comprometa direitos individuais e a equidade social. Além disso, a ética algorítmica surge como um campo essencial para enfrentar desafios relacionados à transparência e à governança dos sistemas de IA, garantindo que as decisões automatizadas sejam compreensíveis e auditáveis (Taddeo & Floridi, 2018).

Diante desse cenário, surge a seguinte questão: como garantir que a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 ocorra de maneira ética e socialmente responsável, assegurando um equilíbrio entre inovação e proteção dos

direitos dos trabalhadores e da sociedade? A importância desse questionamento reside no fato de que, embora a Indústria 4.0 traga benefícios significativos, a ausência de diretrizes claras para sua aplicação pode gerar riscos sociais, econômicos e regulatórios. A literatura acadêmica tem explorado amplamente os impactos da digitalização sobre a produtividade e a eficiência operacional, mas ainda há lacunas quanto às melhores práticas para garantir que a automação e o uso de IA sejam conduzidos de forma ética e sustentável.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo investigar como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser implementadas de maneira ética e responsável, promovendo um ambiente de trabalho inclusivo e alinhado às exigências do mercado por inovação e eficiência. Parte-se da hipótese de que a adoção de diretrizes de governança ética e a realização de auditorias frequentes podem mitigar os impactos negativos da automação sobre a privacidade de dados, a transparência algorítmica e as relações de trabalho. Para isso, será realizada uma análise crítica dos desafios e oportunidades associados à Indústria 4.0, enfatizando práticas que promovam o equilíbrio entre avanço tecnológico e responsabilidade social.

2. Referencial teórico

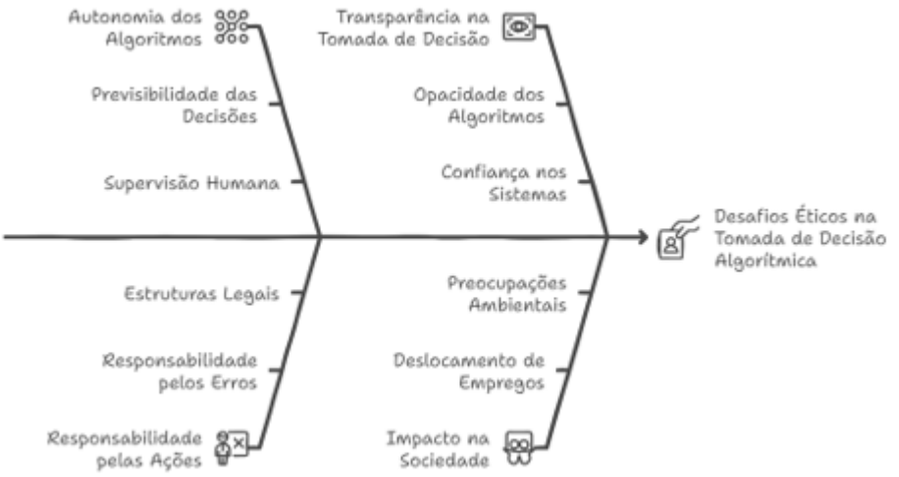
Com a Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0 emerge como uma parte fundamental dessa transformação, destacando a relevância da Inteligência Artificial (IA) e a integração dos mundos físico e cibernético. Os sistemas ciberfísicos reconfiguram dinâmicas sociais e econômicas, promovendo uma nova era de interconexão e eficiência. Rajkumar (2010) sublinha que, apesar da otimização de recursos proporcionada pela Indústria 4.0, surgem questões éticas sobre a interação entre humanos e não-humanos, evidenciando a complexidade da relação homem-máquina. Como mencionado anteriormente, as tecnologias de IA, como Machine Learning e Deep Learning, ainda estão em fase inicial, sendo predominantemente conceituais ou experimentais. Woschank, Rauch e Zsifkovits (2020) apontam a coleta de dados sobre máquinas e a manutenção preditiva como promissoras para a otimização logística.

Esse contexto apresenta desafios significativos, no qual a automação e a digitalização requerem uma análise cuidadosa dos impactos sociais e éticos, especialmente em setores críticos como a logística. Assim, é essencial que as empresas e as instituições colaborativas desenvolvam diretrizes que garantam uma implementação responsável e ética das tecnologias da Indústria 4.0.

A digitalização em massa, alimentada por Big Data, torna objetos rastreáveis em tempo real, demandando novos instrumentos de controle e cibersegurança para

enfrentar os desafios éticos desta transição logística (Bruno, 2013; Drath & Horch, 2014; Hermann, Pentek, & Otto, 2016), conforme ilustrado na Figura 1:

Figura 1- Desafios éticos na tomada de decisão algorítmica



Fonte: Adaptada de Bruno, 2013; Drath & Horch, 2014; Hermann, Pentek, & Otto, 2016)

As preocupações com a privacidade e segurança de dados são fundamentais para proteger o know-how corporativo (Morožov, 2018). Nesse contexto, a ética algorítmica surge como um elemento central. Segundo Taddeo e Floridi (2018), a autonomia dos algoritmos exerce um impacto direto sobre indivíduos e sociedades, trazendo à tona desafios éticos relacionados à previsibilidade e à transparência das decisões algorítmicas (Yang et al., 2018), aspectos essenciais para assegurar a confiabilidade e a compreensão desses processos. Isso promove a aceitação e o uso responsável da IA em setores críticos como saúde, finanças e justiça. McCarthy et al. (2006) e Samuel (1960) alertam para as consequências indesejadas da substituição da supervisão humana, enfatizando a necessidade de políticas de transparência, como destacado na Figura 2:

Figura 2- Benefícios e Dificuldades

Fonte: Adaptada de Yang et al., 2018; McCarthy et al. (2006) e Samuel (1960)

Adicionalmente, a introdução de máquinas semiautônomas levanta questões de responsabilidade, especialmente quanto à atribuição de erros cometidos por essas tecnologias. A ideia da "pessoa eletrônica" proposta por Silveira (2020) sugere uma estrutura para responsabilizar as ações algorítmicas, essencial à medida que as empresas adotam soluções inteligentes. Essa responsabilização é essencial para garantir a confiança na adoção de tecnologias avançadas, assegurando que as decisões tomadas por algoritmos sejam não apenas eficientes, mas também éticas e transparentes.

Lima Vaz (1999) complementa que a ética aplicada à tecnologia deve englobar tanto a conduta humana quanto o comportamento dos artefatos tecnológicos, reforçando a necessidade de uma abordagem holística.

No setor logístico, a automação promovida pela IA tem melhorado a eficiência, como evidenciado por empresas como Amazon e UPS, mas também gera dilemas éticos, como a substituição de trabalhadores e a falta de transparência nos processos (Vasiliki & Apostolos, 2023; Richey et al., 2023).

De acordo com Bigman et al. (2022), empresas e governos estão cada vez mais empregando algoritmos para aprimorar a tomada de decisões em setores como recrutamento, tratamentos de saúde e concessão de liberdade condicional. Embora o uso de algoritmos possa mitigar preconceitos humanos, frequentemente resulta em escolhas discriminatórias, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Ciclo de desenvolvimento de algoritmos éticos

Fonte: Adaptada de Bigman et al. (2022)

Mökander et al. (2021) defendem a governança ética para garantir equidade no ambiente de trabalho e evitar discriminação algorítmica, significando assegurar que algoritmos e sistemas de inteligência artificial não reproduzam preconceitos

sociais. Isso envolve identificar vieses em dados e decisões de design, especialmente nas áreas de emprego, crédito e saúde. Para combater essa discriminação, é fundamental adotar práticas éticas, realizar auditorias regulares e assegurar diversidade nos dados, promovendo decisões justas e inclusivas.

As pessoas constroem sua compreensão de valores éticos em um contexto social dinâmico e interativo, utilizando uma estrutura bidimensional que abrange desde valores pessoais até valores de consenso social, além de distinguir entre valores morais e preferenciais. Essa construção ética é essencial para a socialização organizacional e para o desenvolvimento de uma cultura ética no ambiente de trabalho. Como observa Dose (1997), essa estrutura é importante para entender como os valores se inter-relacionam e influenciam comportamentos sociais.

Taddeo e Floridi (2018) afirmam que uma estrutura ética é essencial para maximizar o potencial da IA mantendo o controle humano. Floridi et al. (2018) destacam que a ascensão de tecnologias promissoras também traz ameaças, necessitando diretrizes éticas para seu desenvolvimento e implementação. As propostas sugerem a criação de centros e currículos que visem maximizar benefícios e mitigar riscos, promovendo o bem-estar coletivo.

A revisão evidencia a complexidade ética da Indústria 4.0, promovendo diálogo sobre as implicações sociais das inovações tecnológicas e destacando a necessidade de reflexão crítica sobre a relação entre tecnologia, valores éticos e relações humanas. Nesse contexto, a metodologia baseada no tetraedro eficiência-eficácia-relevância-ética se revela uma ferramenta valiosa para gerenciar o desempenho industrial na Indústria 4.0, considerando riscos e incertezas associados às decisões tecnológicas (Berrah et al., 2021).

De acordo com Winkelhaus e Gross (2019), as empresas enfrentam novas demandas dos clientes e uma concorrência global intensa, provocando transformações significativas na indústria. A Indústria 4.0 se destaca como a principal estratégia para enfrentar esses desafios no setor de manufatura. Entretanto, na área de logística, ainda há uma necessidade de um conceito abrangente que explore as implicações gerenciais e as questões de pesquisa não resolvidas.

Ao considerar a sustentabilidade nas decisões logísticas, aspectos como a redução do consumo de combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa são prioritários, podendo ser alcançados por meio do uso de algoritmos que otimizam rotas sustentáveis (Wang et al., 2019; Zadobrischi & Negru, 2022). Nesse cenário, Soumpenioti e Panagopoulos (2023) discutem como a IA vem transformando a logística, automatizando tarefas rotineiras e criando funções como treinadores de sistemas de IA. A integração da IA com robótica, além da aplicação

do blockchain para garantir segurança e transparência, são tendências promissoras. No entanto, as empresas enfrentam o desafio de garantir o cumprimento das regulamentações de privacidade e adotar medidas eficazes de proteção cibernética.

As empresas enfrentam desafios significativos na implementação da IA abrangendo a conformidade com regulamentos de privacidade, a adoção de medidas robustas de cibersegurança e o enfrentamento de questões éticas. Esses desafios incluem a tradução de princípios éticos em ações concretas, a aplicação da ética por design e a promoção de práticas de inovação responsável. Conforme discutido por Coeckelbergh (2019), tais obstáculos destacam a importância de adotar uma abordagem responsável no uso da tecnologia.

Figura 4- Reflexões sobre a IA e Automação na Gestão da Logística

Fonte: Adaptada de Coeckelbergh (2019)

A IA não é apenas uma nova tecnologia que demanda regulamentação; é uma força poderosa que transforma práticas cotidianas, interações pessoais e profissionais, e ambientes. Para o bem-estar da humanidade, é essencial que essa força seja utilizada de maneira positiva, o que reforça o papel central da ética no processo. A ética assegura que as regulamentações da IA sejam desenhadas para maximizar seus benefícios enquanto minimizam os riscos associados.

Nesse contexto, Cuéllar e Huq (2022) destacam que os impactos da regulamentação dependem de os sistemas de IA estarem integrados a estruturas legais cuidadosamente avaliadas, capazes de promover melhorias em nossas vidas, no meio ambiente e no futuro. Complementando essa perspectiva, Totlani (2023) argumenta que uma regulamentação robusta e dinâmica é indispensável para mitigar riscos relacionados ao emprego, preconceito, privacidade de dados e outros fatores que afetam diretamente a humanidade. Assim, uma abordagem ética e

regulamentar bem estruturada torna-se essencial para garantir que a IA contribua positivamente para a sociedade.

Floridi et al. (2018) destacam que estamos diante da ascensão de uma tecnologia promissora que também apresenta grandes ameaças. Este artigo orienta o desenvolvimento, design e implementação de tecnologias de IA em direção a resultados éticos e socialmente favoráveis. As propostas incluem a criação de centros, agências e currículos, defendendo um programa ambicioso de formulação de políticas e inovação tecnológica, visando maximizar os benefícios da IA enquanto mitiga seus riscos.

Jarrahi (2018) afirma que a IA tem sido incorporada a diversos processos organizacionais, gerando preocupações sobre a substituição de humanos nas decisões. No entanto, destaca a complementaridade entre humanos e IA mostrando como ambos contribuem nas decisões organizacionais, que frequentemente envolvem incerteza, complexidade e ambiguidade. A IA, com sua capacidade de processamento, amplia a cognição humana, enquanto os humanos oferecem uma perspectiva holística e intuitiva. Essa perspectiva está alinhada ao conceito de augmentação, também conhecido como inteligência aumentada, que defende a IA como um complemento às capacidades humanas, e não como sua substituta. Em vez de eliminar o papel dos indivíduos, a IA atua como um recurso que amplia e aprimora suas habilidades cognitivas e operacionais, potencializando a tomada de decisões e aumentando a eficiência em diferentes contextos.

Conforme Narvaez (2012), a teoria da valoração moral, ou ética triuna, fundamenta-se na neurobiologia e propõe três pilares éticos. O primeiro, a ética da segurança, enfatiza a proteção física e emocional para o desenvolvimento saudável das crianças. O segundo, a ética do engajamento, destaca a importância das interações sociais na formação do indivíduo. Por fim, a ética da imaginação permite que indivíduos considerem alternativas e favoreçam a criatividade na tomada de decisões.

A formação da personalidade e o desenvolvimento social são profundamente influenciados pela interação com tecnologias emergentes, como a IA e a Indústria 4.0. Vinculando essa realidade às ideias de Narvaez, podemos traçar um paralelo entre o desenvolvimento ético e o impacto dessas tecnologias no comportamento humano.

A ética da segurança sugere que a IA deve priorizar a proteção dos usuários, estabelecendo normas rigorosas para salvaguardar dados pessoais e garantir privacidade, fundamental para a confiança nas tecnologias digitais. A ética do engajamento enfatiza a promoção de interações sociais positivas, onde os sistemas

de IA incentivam a colaboração entre humanos e máquinas, contribuindo para uma sociedade mais conectada.

A ética da imaginação está relacionada à capacidade da IA de oferecer soluções inovadoras e estimular a criatividade, ajudando os indivíduos a pensarem além do imediato e incentivando uma abordagem crítica diante dos desafios.
Portanto, desenvolver a expertise ética em relação à IA e à Indústria 4.0 é essencial, permitindo que os indivíduos compreendam e moldem o caráter moral das tecnologias emergentes, favorecendo uma conexão equilibrada e responsável entre pessoas e dispositivos, promovendo um futuro em que a ética esteja intrinsecamente ligada à inovação.

3. Procedimentos metodológicos

A metodologia adotada neste estudo baseia-se em uma abordagem qualitativa, transversal, visando explorar as considerações éticas relacionadas à automação logística e à Inteligência Artificial no contexto da Indústria 4.0. A pesquisa se desenvolveu por meio de uma revisão sistemática da literatura, abrangendo artigos acadêmicos, publicações especializadas e relatórios de consultoria, com o objetivo de identificar padrões, temas recorrentes e lacunas de pesquisa relacionados à implementação de tecnologias avançadas e seus impactos éticos.

3.1 Processo de seleção de fontes

A revisão bibliográfica foi conduzida em bases de dados acadêmicas como *Scopus, Web of Science*, IEEE *Xplore* e Google Acadêmico. Foram utilizados como *string* de busca: *"algorithmic ethics" or "Algorithmic transparency" or "Ethical governance" or "Artificial Intelligence in logistics" or "Logistics automation"* O uso de múltiplas fontes permitiu uma compreensão abrangente do estado da arte e das principais discussões, em torno das questões éticas na automação.

Para assegurar a relevância das fontes, foi estabelecido critérios de inclusão que privilegiaram artigos publicados nos últimos cinco anos, com foco em estudos empíricos ou revisões teóricas que abordassem diretamente os desafios éticos na implementação de IA e automação. Foram incluídas publicações em inglês, a fim de captar uma visão mais ampla e representativa sobre o tema. Dito isso, trabalhos que se limitavam exclusivamente a aspectos técnicos da automação, sem considerar suas implicações sociais ou éticas, foram desconsiderados.

A partir dessa seleção inicial, um total de 65 estudos foram identificados como relevantes para a pesquisa. Após a leitura dos resumos e uma avaliação criteriosa de sua aplicabilidade, 35 artigos foram selecionados para análise aprofundada, incluindo aqueles que discutem os benefícios e os desafios da automação e da IA sob uma perspectiva ética.

3.2 Desafios éticos na tomada de decisões algorítmicas

A análise qualitativa dos estudos selecionados foi conduzida utilizando a técnica de análise temática proposta por Braun e Clarke (2006). Essa abordagem possibilita a identificação de padrões e temas recorrentes, oferecendo uma visão aprofundada sobre as implicações éticas e sociais da automação logística. Durante o processo, foram codificados trechos dos artigos revisados que abordavam aspectos como privacidade de dados, transparência nos processos decisórios algorítmicos, responsabilização por falhas tecnológicas e os impactos da automação no mercado de trabalho.

A leitura detalhada dos textos permitiu identificar três grandes eixos temáticos que estruturaram a análise:

a) **Governança Ética e Responsabilidade Algorítmica**: Exploração das questões de transparência e atribuição de responsabilidade nas decisões tomadas por sistemas automatizados, com foco em estudos que propõem frameworks éticos para guiar a implementação da IA em setores críticos.

b) **Impacto Social da Automação**: Foco nas mudanças nas relações de trabalho e no impacto social da automação sobre os trabalhadores, com ênfase em questões de substituição de mão de obra, precarização do trabalho e implicações éticas no ambiente de trabalho.

c) **Privacidade e Segurança de Dados**: Discussão sobre os desafios relacionados à coleta, armazenamento e uso de dados sensíveis, destacando as preocupações éticas com a privacidade dos indivíduos em um ambiente de digitalização massiva.

Esses eixos orientaram a análise das implicações da Indústria 4.0 para a governança ética e permitiram uma comparação entre diferentes setores que adotam tecnologias de automação, com destaque para o setor logístico.

3.3 Validação e limitações da pesquisa

A metodologia empregada, embora sólida em sua abordagem qualitativa, apresenta algumas limitações que precisam ser consideradas. Primeiro, a revisão sistemática de literatura, embora eficaz para identificar temas e padrões, depende das publicações disponíveis e pode deixar de fora trabalhos relevantes que não foram indexados nas bases de dados acessadas. Além disso, como a pesquisa se concentrou em estudos teóricos e empíricos sobre a ética na IA e automação, não foram realizadas entrevistas com especialistas da indústria ou profissionais diretamente envolvidos com a implementação dessas tecnologias.

Apesar dessas limitações, a análise comparativa dos estudos selecionados permite uma compreensão detalhada dos principais desafios éticos enfrentados pela automação logística, fornecendo uma base sólida para futuras pesquisas e

práticas empresariais. Investigações futuras poderiam incluir estudos de caso empíricos ou entrevistas com empresas e trabalhadores afetados pela automação, para complementar a perspectiva teórica aqui apresentada.

4. Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados revelou três grandes eixos temáticos que permeiam as discussões sobre as implicações éticas da automação logística no contexto da Indústria 4.0: a governança ética e a responsabilidade algorítmica, o impacto social da automação no trabalho e as questões de privacidade e segurança de dados. Esses temas interagem e se sobrepõem em diversas áreas, evidenciando a complexidade do cenário atual e a necessidade de soluções integradas para lidar com os desafios éticos emergentes.

4.1 Governança ética e responsabilidade algorítmica

Um dos principais desafios da automação logística é a atribuição de responsabilidade em sistemas baseados em IA. Com a crescente adoção de algoritmos para otimizar processos logísticos, as decisões que antes eram tomadas por humanos estão sendo delegadas a máquinas, o que levanta a questão de quem deve ser responsabilizado por possíveis falhas. Conforme discutido por Taddeo e Floridi (2018), a "caixa-preta algorítmica" — a dificuldade em entender e explicar as decisões tomadas por sistemas de IA — representa um obstáculo significativo para a governança ética. Decisões de alto impacto, como a alocação de recursos, otimização de rotas e previsões de demanda, são frequentemente baseadas em processos algorítmicos que não oferecem transparência ou clareza sobre os critérios utilizados.

Para mitigar esses desafios, autores como Mökander et al. (2021) defendem a criação de sistemas de auditoria ética, que permitam rastrear e verificar as decisões tomadas por algoritmos, assegurando que estejam alinhadas com os valores corporativos e sociais. Isso requer ferramentas que expliquem claramente as decisões da IA e políticas que estabeleçam responsabilidades legais em casos de erros.

Empresas que operam no setor logístico, como Amazon e UPS, estão na linha de frente dessa discussão. Ambas utilizam sistemas avançados de automação em seus centros de distribuição e de entrega, otimizando o tempo e reduzindo os custos operacionais. No entanto, essas mesmas empresas enfrentam críticas quanto à falta de transparência em suas operações automatizadas e à forma como as decisões algorítmicas afetam a força de trabalho humana (Richey et al., 2023). O uso crescente de algoritmos sem supervisão direta, por exemplo, para monitorar o

desempenho dos trabalhadores, levanta preocupações sobre a justiça e a equidade dessas avaliações.

4.2 Impacto social da automação no trabalho

A substituição de trabalhadores humanos por sistemas automatizados é uma preocupação crescente em vários setores da economia, e a logística não é exceção. Embora a automação ofereça benefícios consideráveis em termos de eficiência e precisão, o custo social dessa transição precisa ser cuidadosamente considerado. De acordo com Jarrahi (2018), a complementação entre humanos e máquinas deve ser o objetivo principal, em vez da substituição completa de trabalhadores. No entanto, em muitas operações logísticas, o uso de robôs para tarefas como separação de mercadorias, empacotamento e movimentação de produtos já está substituindo atividades tradicionalmente realizadas por humanos.

A consequência mais imediata da automação é a perda de empregos em setores que dependem de mão de obra não qualificada. Estudos indicam que a introdução de IA e robótica nas cadeias de suprimentos pode reduzir drasticamente a necessidade de trabalhadores em armazéns e centros de distribuição (Winkelhaus & Grosse, 2019). Além disso, os trabalhadores que permanecem empregados enfrentam novas formas de controle e vigilância, muitas vezes mediadas por algoritmos que monitoram seu desempenho em tempo real. Esse cenário provoca debates sobre a precarização do trabalho e a desumanização do ambiente de trabalho.

Em um estudo realizado por Bigman et al. (2022), foi demonstrado que a discriminação algorítmica pode ocorrer na alocação de tarefas e na avaliação de desempenho, uma vez que os algoritmos podem refletir preconceitos presentes nos dados usados para treiná-los. Isso levanta a necessidade de políticas rigorosas de controle e de auditoria dos sistemas automatizados, garantindo que as decisões sejam justas e inclusivas. No contexto da logística, onde a pressão por eficiência é constante, as empresas devem equilibrar o uso de IA com práticas que protejam os direitos dos trabalhadores e promovam um ambiente de trabalho equitativo.

4.3 Privacidade e segurança de dados

Outro ponto crítico na automação logística é a coleta massiva de dados pessoais e operacionais. À medida que sistemas de IA se tornam mais integrados às operações logísticas, grandes volumes de dados são coletados em tempo real, permitindo a rastreabilidade de produtos e a otimização de processos. No entanto, essa coleta de dados levanta preocupações sobre privacidade e segurança, uma vez

que os sistemas ciberfísicos são alvos potenciais de ataques cibernéticos e violações de dados (Morožov, 2018).

A digitalização das operações logísticas, impulsionada pela Indústria 4.0, exige que as empresas adotem medidas rigorosas de cibersegurança para proteger tanto seus dados quanto os de seus clientes. Além disso, a ética da coleta de dados se torna central, especialmente quando informações pessoais de funcionários e clientes são utilizadas para alimentar algoritmos de tomada de decisão. É necessário garantir que a coleta e o uso desses dados sejam transparentes e estejam em conformidade com as regulamentações de privacidade, como o Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR) na Europa e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no Brasil. As empresas devem adotar políticas para anonimização e uso responsável de dados, garantindo privacidade e consentimento para um uso ético e legal na automação logística.

4.4 Implicações para o futuro da automação logística

A automação logística oferece benefícios operacionais, mas também apresenta desafios éticos que demandam uma implementação responsável. Governança ética, proteção dos trabalhadores e segurança de dados são essenciais. Futuros estudos devem focar em políticas públicas para requalificação, frameworks éticos e parcerias entre academia, setor privado e governo para garantir uma automação justa e sustentável.

5. Considerações finais

Este estudo explorou as implicações éticas da automação logística no contexto da Indústria 4.0, destacando os desafios e as oportunidades trazidas pela implementação de Inteligência Artificial (IA) e sistemas automatizados. Ao longo da análise, três eixos temáticos principais emergiram: a governança ética e a responsabilidade algorítmica, o impacto social da automação sobre os trabalhadores e as preocupações com privacidade e segurança de dados.

Primeiramente, a crescente autonomia dos sistemas algorítmicos, especialmente em operações logísticas, exige uma governança ética robusta. A capacidade dos algoritmos de tomar decisões com pouca ou nenhuma supervisão humana levanta questões fundamentais, sobre a transparência, a explicabilidade e a atribuição de responsabilidade. Como discutido, a "caixa-preta algorítmica" representa um risco para a equidade e para a justiça nos processos decisórios, o que pode minar a confiança nas tecnologias implementadas. Portanto, a adoção de arcabouço de auditoria ética e de políticas de transparência é essencial para garantir que os sistemas de IA sejam responsáveis e auditáveis.

Em segundo lugar, a automação traz consequências significativas para o mercado de trabalho, particularmente no setor logístico, onde muitas funções operacionais estão sendo substituídas por sistemas automatizados. A substituição de trabalhadores por máquinas não apenas levanta preocupações sobre o desemprego, mas também sobre a precarização das condições de trabalho para aqueles que permanecem empregados. A pressão por eficiência e o uso de algoritmos para monitoramento de desempenho podem resultar em ambientes de trabalho desumanizantes. Diante disso, é imprescindível que as empresas considerem o bem-estar de seus funcionários ao implementar essas tecnologias, promovendo a requalificação e a capacitação de suas equipes para novas funções que complementem a automação.

A coleta de grandes volumes de dados na logística exige uma abordagem ética que priorize privacidade, segurança e conformidade com regulamentações como GDPR e LGPD. Embora a automação logística e a IA tragam benefícios, sua implementação requer gestão responsável, pautada em justiça, inclusão e transparência, com políticas públicas para requalificação, modelos éticos e governança sólida. Futuras pesquisas devem explorar soluções práticas, como sistemas auditáveis, capacitação de trabalhadores e estudos de casos que equilibrem automação e bem-estar social, garantindo que a Indústria 4.0 respeite direitos humanos, diversidade e sustentabilidade.

Referências

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Engineering Management Journal*, 33, 187-201. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935.

Berrah, L., Clivillé, V., Trenteaux, D., & Chapel, C. (2021). Industrial Performance: An Evolution Incorporating Ethics in the Context of Industry 4.0. *Sustainability***,** 13(16), 9209. https://doi.org/10.3390/su13169209.

Bigman, Y. et al. (2022). Algorithmic discrimination causes less moral outrage than human discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(1), 40-50. https://doi.org/10.1037/xge0001250.

Braun, Virginia; Clarke, Victoria. Using thematic analysis in psychology. Qualitative research in psychology, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006.

Bruno, F (2013). *Máquinas de ver, modos de ser: vigilância, tecnologia e subjetividade.* Porto Alegre: Sulina.

Cuéllar, M., & Huq, A. (2022). Artificially Intelligent Regulation. *Daedalus*, 151, 335-347. https://doi.org/10.1162/daed_a_01920.

Coeckelbergh, Mark. (2019). Artificial Intelligence: Some ethical issues and regulatory challenges**.** https://doi.org/10.26116/TECHREG.2019.003.

Dose, J. (1997). Work values: An integrative framework and illustrative application to organizational socialization. *Journal of Occupational and Organizational Psychology***,** 70, 219-240.

Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58.

Floridi, L., Cowls, J., & Beltrametti, M. et al. (2018). AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds & Machines*, 28, 689-707. https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5.

Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios**.** *In: System Sciences (HICSS),* 49th Hawaii International Conference. 3928-3937.

Jarrahi, M. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making. *Business Horizons*. https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2018.03.007.

Lima Vaz, H. C. (1999). *Escritos de Filosofia IV: Introdução à Ética Filosófica*. São Paulo: Loyola.

Mccarthy, J. et al. (2006). A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), p. 12.

Mökander, J. et al. (2021). Ethics-based auditing of automated decision-making systems: Nature, scope, and limitations. *Science and Engineering Ethics***,** 27. https://doi.org/10.1007/s11948-021-00319-4.

Morožov, E. (2018). *Big Tech: a ascensão dos dados e a morte da política***.** São Paulo: Ubu.

Narvaez, D. (2012). Moral neuroeducation from early life through the lifespan. *Neuroethics***,** 5, 145-157. https://doi.org/10.1007/S12152-011-9117-5.

Rajkumar, R. R. Et al. (2010). Cyber-physical systems: the next computing revolution. *In: Proceedings of the 47th Design Automation Conference*. ACM, 731-736.

Richey, R. et al. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(1), 101-117. https://doi.org/10.1111/jbl.12364.

Samuel, A. L. (1960). Some moral and technical consequences of automation—a refutation. *Science*, 132(3429), 741-742.

Silveira, S. A. (2020). Responsabilidade algorítmica, personalidade eletrônica e democracia. *Revista Eletrônica Internacional de Economia Política da Informação, da Comunicação e da Cultura*, 22(2), 83-96.

Soumpenioti, V., & Panagopoulos, A. (2023). AI technology in the field of logistics. *In: Proceedings of the 2023 18th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization* (SMAP 2023), Limassol, Cyprus. 1-6. https://doi.org/10.1109/SMAP59435.2023.10255203.

Taddeo, M. R., & Floridi, L. (2018). How AI can be a force for good. *Science*, 361(6404), 751-752.

Totlani, K. (2023). Navigating the Ethical Maze: Moral Dilemmas in the Age of AI. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.56138.

Vasiliki, S., & Apostolos, P. (2023). AI technology in the field of logistics. *In: 18th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization* (SMAP), Anais... [s.l.]: IEEE, 1-6. https://doi.org/10.1109/SMAP59435.2023.10255203.

Wang, Y. et al. (2019). Multi-depot green vehicle routing problem with shared transportation resource: Integration of time-dependent speed and piecewise penalty cost. *Journal of Cleaner Production,* 230, 186-199. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.05.344.

Yang, G.-Z. et al. (2018). The grand challenges of Science Robotics. *Science Robotics***,** 3(14), eaar7650.

Zadobrischi, E., & Negru, M. (2022). Applied study of the fluidization model of logistics transportation through the prism of the impact generated on the environment. *Sensors (Basel, Switzerland)***,** 22, 39255. https://doi.org/10.3390/s22239255.

Winkelhaus, S., & Grosse, E. (2019). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58, 18-43. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964.

Woschank, M., Rauch, E., & Zsifkovits, H. (2020). A Review of Further Directions for Artificial Intelligence, Machine Learning, and Deep Learning in Smart Logistics. *Sustainability***,** https://doi.org/10.3390/su12093760.

Contribuição dos Autores:
Márcio José Padovan de Antônio: 1. Planejamento e delineamento do estudo;
Joel Porto Alves: 2. Revisão das normas e Análise de dados;
Dircelene Teixeira do Nascimento: 3. Escrita da revisão de literatura e outras contribuições;
Mírian Cristina de Moura Garrido: 4. Supervisão do trabalho.