

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LAST MILE LOGISTICS: EFFICIENCY, SUSTAINABILITY, AND CHALLENGES FOR BUSINESS COMPETITIVENESS

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILHA: EFICIÊNCIA, SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS PARA A COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL

**MARCELO QUIRINO**

<https://orcid.org/0009-0009-0165-2821/> [marceloquirinoufsc@gmail.com](mailto:marceloquirinoufsc@gmail.com)  
Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina.

**MARINA BOUZON**

<https://orcid.org/0000-0002-8994-5021/> [marinabouzon@gmail.com](mailto:marinabouzon@gmail.com)  
Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina.

Recebido em: 23/09/2025

Aprovado em: 30/12/2025

Publicado em: 26/02/2026



### RESUMO

A logística de última milha representa um dos maiores desafios da cadeia de suprimentos, impactando diretamente os custos operacionais e a experiência do consumidor final. O crescimento acelerado do comércio eletrônico e as crescentes pressões por entregas rápidas, personalizadas e sustentáveis intensificaram a necessidade de soluções inovadoras. Neste contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como tecnologia estratégica, oferecendo benefícios em termos de otimização de rotas, redução de custos, melhoria da experiência do cliente e mitigação dos impactos ambientais. Este artigo tem como objetivo analisar os benefícios e desafios da aplicação da IA na logística de última milha, com base em revisão bibliográfica de artigos publicados entre 2023 e 2025. Os resultados apontam que algoritmos inteligentes, veículos autônomos, robôs de entrega e sistemas preditivos transformam a eficiência operacional e ampliam a sustentabilidade. Contudo, barreiras como altos custos de implementação, falta de regulamentação específica, problemas de integração de dados e resistência organizacional ainda dificultam a adoção em larga escala. Conclui-se que a integração da IA à última milha representa um vetor de competitividade empresarial, desde que acompanhada por investimentos em infraestrutura, capacitação da força de trabalho e avanços regulatórios.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Logística de Última Milha; Sustentabilidade; Eficiência Operacional; Competitividade.

## ABSTRACT

Last-mile logistics represents one of the greatest challenges in the supply chain, directly affecting operating costs and the end customer experience. The accelerated growth of e-commerce and increasing demands for fast, customized, and sustainable deliveries have intensified the need for innovative solutions. In this context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a strategic technology, offering benefits in route optimization, cost reduction, customer experience enhancement, and environmental impact mitigation. This article aims to analyze the benefits and challenges of AI application in last-mile logistics, based on a literature review of studies published between 2023 and 2025. The findings indicate that intelligent algorithms, autonomous vehicles, delivery robots, and predictive systems are transforming operational efficiency and promoting sustainability. However, barriers such as high implementation costs, lack of specific regulation, data integration issues, and organizational resistance still hinder widespread adoption. The study concludes that AI integration into last-mile logistics is a driver of business competitiveness, provided it is accompanied by investments in infrastructure, workforce training, and regulatory advancements.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Last-Mile Logistics; Sustainability; Operational Efficiency; Competitiveness.

## 1 INTRODUÇÃO

A logística de última milha é amplamente reconhecida como a etapa mais crítica da cadeia de suprimentos, pois concentra grande parte dos custos operacionais e influencia diretamente a experiência do consumidor final (Eskandaripour; Boldsai Khan, 2023; Reis, 2025). Estudos apontam que essa fase pode representar até 53% dos custos totais de transporte em cadeias de suprimento, sobretudo em contextos urbanos densos e altamente congestionados, onde os desafios de mobilidade e sustentabilidade se tornam mais evidentes (Ferreira; Esperança, 2025; Tao, 2024).

O crescimento acelerado do comércio eletrônico intensificou esses desafios, ao ampliar o volume de pedidos fracionados e gerar pressões por entregas cada vez mais rápidas, personalizadas e de baixo impacto ambiental (Kumar; Kumar, 2025; Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025)se cenário, consumidores passaram a considerar o desempenho logístico não apenas como um serviço de apoio, mas como parte integrante da proposta de valor da empresa, influenciando diretamente sua satisfação e fidelidade (Alverhed et al., 2024; Zemanek, Jr.; Kros, 2024).

Diante desse novo contexto, a Inteligência Artificial (IA) emerge como ferramenta estratégica para enfrentar os gargalos da última milha. Por meio de algoritmos capazes de processar dados em tempo real, a IA possibilita otimizar rotas, prever demandas, reduzir custos operacionais e mitigar impactos ambientais, ao mesmo tempo em que amplia a confiabilidade e a rastreabilidade das entregas (Badrinarayanan, 2024; Ferreira; Esperança, 2025). Além disso, estudos recentes evidenciam a convergência entre IA e tecnologias emergentes, como veículos autônomos, drones, robôs de entrega e soluções de edge computing, reforçando seu papel como vetor de transformação na logística moderna (Alverhed et al., 2024; Reis, 2025).

Considerando a relevância do tema, este artigo tem como objetivo analisar os benefícios e desafios da aplicação da Inteligência Artificial na logística de última milha, à luz da literatura científica recente, publicada entre 2023 e 2025. Para isso, a próxima seção apresenta uma revisão da literatura, destacando os principais avanços, barreiras e perspectivas relacionadas ao tema.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura possibilita compreender como a aplicação da Inteligência Artificial (IA) vem sendo discutida no contexto da logística de última milha, destacando seus principais desafios, benefícios e perspectivas. O interesse acadêmico pelo tema aumentou substancialmente a partir da intensificação do comércio eletrônico e da demanda por soluções sustentáveis, o que tem levado pesquisadores a propor modelos inovadores de análise e implementação (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Ferreira; Esperança, 2025).

## 2.1 A logística de última milha e seus desafios

A última milha é considerada o gargalo da cadeia de suprimentos por reunir fatores críticos como dispersão geográfica, complexidade urbana e pressão por prazos reduzidos (Reis, 2024; Tao, 2024). Além de representar até 53% dos custos logísticos totais, essa etapa responde pela maior parte das emissões de gases poluentes relacionadas ao transporte urbano, o que amplia a urgência de soluções sustentáveis (Ferreira; Esperança, 2025; Kumar; Kumar, 2025).

A densidade populacional das grandes cidades agrava esses desafios, tornando o planejamento de rotas mais complexo e oneroso. Segundo Alverhed et al., (2024) e Zemanek, Jr.; Kros, (2024), congestionamentos, restrições de circulação de veículos e problemas de infraestrutura resultam em atrasos recorrentes, afetando a satisfação do consumidor e a competitividade empresarial. Dessa forma, a última milha exige uma combinação de eficiência operacional e responsabilidade ambiental, que pode ser viabilizada pelo uso estratégico da IA.

## 2.2 Inteligência Artificial como vetor de transformação

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na logística de última milha tem se consolidado como um diferencial competitivo essencial, especialmente pela capacidade de analisar grandes volumes de dados e apoiar decisões em tempo real (Badrinarayanan, 2024; Reis, 2025). Diferentemente das ferramentas tradicionais de planejamento, que operam de forma estática, a IA permite ajustes dinâmicos nas operações, considerando variáveis como tráfego urbano, restrições de circulação, condições climáticas e até o comportamento de compra dos consumidores (Eskandaripour; Boldsai Khan, 2023; Tao, 2024). Essa característica possibilita reduzir custos operacionais, aumentar a confiabilidade e ampliar a capacidade de resposta frente a imprevistos, o que é decisivo em mercados altamente competitivos.

Outro aspecto estratégico da IA é sua contribuição para a sustentabilidade logística. Ao otimizar rotas e reduzir deslocamentos desnecessários, os algoritmos de IA contribuem para diminuir emissões de gases poluentes e o consumo de combustíveis fósseis (Alverhed et al., 2024; Ferreira; Esperança, 2025). Essa convergência entre eficiência operacional e responsabilidade ambiental tem sido apontada como um dos principais fatores para a incorporação da IA em estratégias de logística verde, particularmente em países que enfrentam pressões regulatórias e sociais por práticas mais sustentáveis (Kumar; Kumar, 2025).

Além da roteirização inteligente, a IA também desempenha papel central em atividades de previsão de demanda e gestão de estoques, permitindo às empresas ajustar suas operações com base em análises preditivas robustas (Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025; Zemanek, Jr.; Kros, 2024). Essas soluções reduzem rupturas e evitam excessos de estoque, otimizando a alocação de recursos e fortalecendo a resiliência das cadeias de suprimentos. Esse ponto é particularmente relevante em contextos de instabilidade econômica e de crises globais, em que a capacidade de adaptação rápida pode significar a sobrevivência ou o fracasso de empresas de diferentes portes.

Por fim, a literatura destaca a integração da IA com tecnologias emergentes como edge computing, veículos autônomos e sistemas de entrega robotizados. Segundo Reis, (2025) e Ferreira; Esperança, (2025), a edge intelligence possibilita que decisões sejam tomadas diretamente nos dispositivos de coleta de dados, reduzindo latência e aumentando a autonomia das operações. Já autores como Alverhed et al., (2024) e Badrinarayanan, ([S.d.]) evidenciam que veículos autônomos e robôs de entrega estão em fase de testes em diversos países, ampliando a eficiência e reduzindo custos de mão de obra. Essa convergência tecnológica reforça o papel da IA não apenas como ferramenta de suporte, mas como elemento central para o futuro da logística urbana.

Dessa forma, a IA deve ser compreendida não apenas como uma inovação tecnológica, mas como um recurso estratégico que redefine a competitividade empresarial e a sustentabilidade da última milha. A próxima subseção (2.3) explora como essas

capacidades se materializam em tecnologias emergentes específicas, que já estão transformando a prática logística em escala global.

### 2.3 Tecnologias emergentes em última milha

A adoção da Inteligência Artificial na logística de última milha tem possibilitado a integração de diferentes tecnologias emergentes, que juntas remodelam a forma como empresas planejam e executam suas operações. Essas soluções incluem desde algoritmos avançados de roteirização até o uso de veículos autônomos, robôs, drones e sistemas preditivos. O potencial dessas tecnologias está diretamente associado à capacidade da IA em processar dados complexos e gerar insights em tempo real (Reis, 2025; Tao, 2024).

Um dos recursos mais amplamente discutidos são os algoritmos de roteirização dinâmica, que ajustam trajetos a partir de variáveis como congestionamentos, restrições de circulação e condições climáticas. Segundo Eskandaripour; Boldsaikhan, (2023) e Badrinarayanan, (2024), esses algoritmos podem reduzir em até 25% o tempo médio de entrega e o consumo de combustível, ao mesmo tempo em que aumentam a confiabilidade do serviço. Essa tecnologia é particularmente relevante em áreas urbanas densas, onde as condições de tráfego mudam rapidamente e exigem ajustes quase instantâneos para evitar atrasos.

Outra inovação são os veículos autônomos, que vêm sendo testados em mercados da América do Norte, Europa e Ásia como alternativa para reduzir a dependência de motoristas humanos e ampliar a consistência das entregas. Zemanek, Jr.; Kros, (2024) e destacam que, embora os custos iniciais sejam elevados, os ganhos de longo prazo em eficiência e segurança operacional justificam os investimentos. Além disso, a integração desses veículos a sistemas de IA baseados em edge computing potencializa sua capacidade de operar em tempo real, mesmo em ambientes de alta complexidade urbana (Ferreira; Esperança, 2025; Reis, 2025).

Os drones e robôs de entrega também têm recebido atenção crescente, especialmente em contextos de cidades inteligentes. Alverhed et al., (2024) demonstram que robôs autônomos são eficazes em áreas densamente povoadas, otimizando a entrega porta a porta, enquanto drones oferecem vantagens em localidades de difícil acesso ou em situações emergenciais. Contudo, como apontam Tao, (2024) e Clementino et al., (2022), a ausência de regulamentação consistente ainda limita a expansão dessas soluções em escala comercial, especialmente em países em desenvolvimento.

Ainda, os sistemas preditivos de demanda representam outra aplicação fundamental da IA. Uche Nweje; Moyosore Taiwo, (2025) ressaltam que, ao analisar padrões históricos de consumo e variáveis contextuais, esses sistemas permitem prever picos de demanda e ajustar o planejamento de estoques e entregas com maior precisão. Badrinarayanan, (2024) acrescenta que essa previsibilidade reduz tanto rupturas quanto desperdícios, fortalecendo a resiliência da cadeia de suprimentos e garantindo maior eficiência operacional.

Assim, observa-se que a IA atua como elemento unificador dessas tecnologias, fornecendo a base analítica e computacional que viabiliza sua aplicação prática. Entretanto, como será discutido na subseção seguinte 2.4, a adoção em larga escala ainda enfrenta barreiras significativas de ordem financeira, regulatória e cultural.

## **2.4 Barreiras à adoção e desafios de implementação**

Apesar do potencial transformador da Inteligência Artificial (IA) na logística de última milha, sua adoção em larga escala ainda é limitada por diferentes barreiras estruturais, financeiras, regulatórias e culturais. Essas restrições explicam por que, embora a literatura aponte ganhos expressivos de eficiência e sustentabilidade, muitas empresas ainda encontram dificuldades para implementar tais soluções de forma efetiva (Kumar; Kumar, 2025; Tao, 2024).

O primeiro obstáculo é o alto custo de implementação, que inclui desde a aquisição de softwares especializados até a compra de veículos autônomos e robôs de entrega. Zemanek, Jr.; Kros, (2024) e Ferreira; Esperança, (2025) apontam que esses investimentos ainda são viáveis principalmente para grandes empresas multinacionais, enquanto pequenas e médias organizações — que constituem a maioria da malha logística em países emergentes — enfrentam restrições financeiras significativas. Esse cenário amplia o risco de concentração tecnológica e pode aumentar desigualdades competitivas entre empresas de diferentes portes.

Outro desafio central é a ausência de regulamentação específica para drones e veículos autônomos, que gera insegurança jurídica e dificulta investimentos de longo prazo. Em vários países, não existem normas claras para circulação de veículos autônomos em vias urbanas, tampouco para o tráfego aéreo de drones em áreas densamente povoadas (Alverhed et al., 2024). Essa lacuna regulatória limita a aplicação prática de inovações que já se encontram em estágio avançado de desenvolvimento tecnológico, criando um descompasso entre a disponibilidade da tecnologia e sua aplicabilidade no mercado.

A qualidade e integração de dados também representam barreiras relevantes. Para que os algoritmos de IA funcionem de maneira eficaz, é necessário dispor de informações consistentes, atualizadas e integradas entre diferentes sistemas da cadeia de suprimentos. Entretanto, como destacam Uche Nweje; Moyosore Taiwo, (2025) e Badrinarayanan, (2024), muitas empresas ainda utilizam sistemas fragmentados ou desatualizados, o que compromete a confiabilidade das análises e reduz o potencial dos modelos preditivos.

Por fim, a resistência cultural e organizacional aparece como um fator recorrente. A transformação digital exige não apenas a introdução de novas tecnologias, mas também a mudança de mentalidade entre gestores e colaboradores. Estudos recentes indicam que a falta de qualificação da força de trabalho e o medo da substituição por máquinas podem gerar entraves internos à adoção da IA (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Reis, 2025). Dessa forma, além de investimentos em infraestrutura tecnológica, é essencial investir em capacitação e gestão da mudança organizacional.

Em síntese, a literatura evidencia que os desafios para a implementação da IA na última milha vão além de aspectos tecnológicos. Questões financeiras, regulatórias, de dados e de cultura organizacional precisam ser tratadas de forma integrada para viabilizar a adoção em larga escala. Essa constatação orienta a análise que será apresentada na seção de Metodologia, onde são detalhados os critérios de seleção e abordagem dos estudos que fundamentam esta pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo fundamenta-se em uma revisão bibliográfica sistemática de caráter qualitativo, voltada para a identificação, análise e síntese de contribuições recentes sobre a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na logística de última milha. Esse tipo de abordagem é adequado para temas emergentes, em que o corpo de conhecimento ainda está em consolidação e exige uma análise aprofundada das evidências disponíveis (Kumar; Kumar, 2025; Tao, 2024).

#### 3.1 Delineamento da pesquisa

A pesquisa é classificada como exploratória e descritiva, visto que busca mapear avanços, barreiras e perspectivas ainda em desenvolvimento. Segundo Reis, (2025) e Ferreira; Esperança, (2025), a natureza exploratória é particularmente relevante em estudos sobre inovações tecnológicas, pois permite compreender fenômenos em rápida evolução, enquanto a vertente descritiva organiza achados de forma sistemática para facilitar comparações entre diferentes contextos. Dessa forma, o presente estudo não se limita a identificar aplicações práticas, mas também propõe uma interpretação crítica dos fatores que condicionam sua implementação.

#### 3.2 Procedimentos de coleta de dados

A coleta de dados seguiu um processo estruturado em cinco etapas principais. Primeiramente, foram definidos os descritores de busca, como *last-mile logistics*, *artificial intelligence in logistics*, *autonomous delivery*, *delivery robots*, *predictive supply chain* e “inteligência artificial na logística”, em inglês e português, assegurando a abrangência da pesquisa (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Tao, 2024). Em seguida, foram selecionadas as bases de dados de maior relevância acadêmica, incluindo Scopus, Web of Science, SpringerLink, MDPI e SSRN, além de repositórios de pré-publicações como Preprints.org.

O recorte temporal foi estabelecido entre 2023 e 2025, com o objetivo de privilegiar estudos recentes e alinhados às transformações atuais da logística urbana (Badrinarayanan, 2024; Reis, 2025). Como critérios de inclusão, foram considerados artigos revisados por pares, trabalhos publicados em conferências científicas internacionais e estudos que apresentassem resultados empíricos, modelos conceituais ou análises aplicadas à última milha. Por outro lado, foram excluídos artigos duplicados, estudos sem relação direta com logística (como aplicações médicas ou financeiras da IA) e textos de caráter meramente opinativo, sem suporte empírico (Alverhed et al., 2024; Zemanek, Jr.; Kros, 2024).

### 3.3 Análise e síntese dos dados

Os artigos selecionados foram analisados criticamente e organizados em duas categorias temáticas: (a) benefícios da aplicação da IA na última milha e (b) desafios e barreiras para sua adoção em larga escala. A utilização da técnica de análise temática permitiu identificar convergências e divergências entre os estudos, além de destacar lacunas para futuras pesquisas (Ferreira; Esperança, 2025; Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025). Essa abordagem contribuiu para estruturar uma visão comparativa das evidências disponíveis, ressaltando o papel estratégico da IA e os fatores que dificultam sua consolidação prática.

### 3.4 Limitações da metodologia

Embora o processo tenha buscado garantir rigor, algumas limitações devem ser reconhecidas. O recorte temporal restrito (2023–2025) pode ter excluído trabalhos anteriores relevantes, embora a intenção fosse priorizar análises contemporâneas (Kumar; Kumar, 2025; Tao, 2024). Outro ponto é a predominância de publicações internacionais, que pode reduzir a aderência imediata ao contexto brasileiro. Ainda, a ausência de dados primários limita a pesquisa ao nível conceitual, o que sugere a necessidade de investigações futuras de caráter empírico para validar as conclusões (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Reis, 2025).

Assim, o método de seleção e análise adotado assegura que as discussões apresentadas nas próximas seções estejam fundamentadas em evidências sólidas e atualizadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise sistemática da literatura revelou que a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na logística de última milha gera impactos significativos em quatro grandes eixos: eficiência operacional, experiência do consumidor, sustentabilidade ambiental e resiliência da cadeia de suprimentos. Contudo, a adoção dessas soluções enfrenta barreiras relacionadas a custos, regulação, integração de dados e resistência cultural, especialmente em países emergentes como o Brasil.

### 4.1 Benefícios da IA na logística de última milha

O primeiro benefício identificado é a eficiência operacional, fortemente associada ao uso de algoritmos de roteirização dinâmica. De acordo com Reis, (2025) e Badrinarayanan, (2024), a aplicação de IA pode reduzir em até 25% os custos logísticos e melhorar a utilização da frota, ao permitir ajustes quase instantâneos diante de congestionamentos ou imprevistos. Esses ganhos se ampliam quando combinados com edge intelligence, que

processa dados localmente e reduz a latência nas decisões (Ferreira; Esperança, 2025; Tao, 2024).

Outro impacto relevante é a melhoria da experiência do consumidor, que se torna mais positiva com o uso de sistemas inteligentes de rastreamento e previsão de entrega. Eskandaripour; Boldsaikhan, (2023) e Alverhed et al., (2024) mostram que a transparência e a confiabilidade oferecidas pela IA fortalecem a confiança do cliente, tornando a logística parte essencial da proposta de valor das empresas. Esse aspecto é particularmente relevante no comércio eletrônico, em que atrasos ou falhas na entrega impactam diretamente a fidelização.

A sustentabilidade ambiental também se destaca como benefício central. Ao reduzir distâncias percorridas e otimizar a ocupação dos veículos, a IA contribui para a diminuição das emissões de carbono (Ferreira; Esperança, 2025). Além disso, a integração da IA com veículos elétricos e modelos colaborativos de entrega reforça o compromisso das empresas com práticas de logística verde, cada vez mais exigidas por consumidores e reguladores (Kumar; Kumar, 2025; Tao, 2024).

Por fim, a IA promove resiliência e previsibilidade na cadeia de suprimentos. Sistemas preditivos baseados em IA permitem antecipar variações de demanda e ajustar estoques, minimizando rupturas e desperdícios (Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025; Zemanek, Jr.; Kros, 2024). Esse fator se torna ainda mais estratégico em contextos de incerteza global, como crises sanitárias e flutuações econômicas, em que a adaptabilidade é essencial para a sobrevivência das empresas.

## 4.2 Desafios e barreiras à implementação

Apesar dos benefícios, a literatura evidencia que a implementação da IA ainda enfrenta desafios estruturais. O mais recorrente é o alto custo de investimento, que inviabiliza a adoção por pequenas e médias empresas (Kumar; Kumar, 2025; Tao, 2024).

Embora grandes players globais consigam absorver esses custos, a desigualdade tecnológica cria riscos de concentração de mercado e exclusão competitiva.

A ausência de regulamentação clara para drones e veículos autônomos também aparece como barreira crítica. Estudos de Alverhed et al., (2024) apontam que, mesmo em países desenvolvidos, o marco legal para operações autônomas ainda é incipiente. No Brasil, a falta de regulamentação específica para tráfego urbano e aéreo de drones limita a adoção em larga escala, mesmo quando a tecnologia já se encontra disponível (Clementino et al., 2022).

Outro desafio relevante é a integração e qualidade dos dados. Para que algoritmos de IA sejam eficazes, é necessário que empresas disponham de sistemas integrados e informações atualizadas. Entretanto, Uche Nweje; Moyosore Taiwo, (2025) e Badrinarayanan, (2024) evidenciam que muitas organizações ainda operam com dados fragmentados, o que compromete a acurácia das análises e reduz o potencial de eficiência da IA.

Por fim, a resistência organizacional e cultural representa um entrave importante. A transformação digital exige mudança de mentalidade e capacitação contínua dos colaboradores. Estudos recentes apontam que o receio de substituição por máquinas e a falta de conhecimento técnico dificultam a aceitação interna das tecnologias (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Reis, 2025). Assim, programas de treinamento e gestão da mudança são tão essenciais quanto os investimentos em infraestrutura tecnológica.

### **4.3 Perspectivas para o Brasil**

Ao considerar os achados internacionais, é possível extrair implicações diretas para o contexto brasileiro. O alto custo logístico nacional, estimado em 12% do PIB, reforça a urgência da adoção de tecnologias que aumentem a eficiência (Ferreira; Esperança, 2025; Tao, 2024). Além disso, a densidade urbana e os congestionamentos tornam o Brasil um

campo fértil para a aplicação de algoritmos de roteirização e sistemas de previsão de demanda (Badrinarayanan, 2024; Reis, 2025).

Entretanto, a lacuna regulatória é um dos maiores entraves. Enquanto países como Estados Unidos e China já testam veículos autônomos e drones em larga escala, o Brasil ainda não possui regulamentação específica, o que desestimula investimentos robustos (Zemanek, Jr.; Kros, 2024). Além disso, a predominância de pequenas e médias empresas no setor logístico nacional amplia a necessidade de soluções mais acessíveis e adaptadas à realidade local (Kumar; Kumar, 2025; Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025).

#### **4.4 Integração entre benefícios e desafios**

Os resultados indicam que os benefícios da IA só podem ser plenamente alcançados se as empresas conseguirem superar barreiras financeiras, regulatórias e culturais. Ferreira; Esperança, (2025) e Alverhed et al., (2024) ressaltam que a integração da IA com práticas sustentáveis, como veículos elétricos e entregas colaborativas, pode ampliar sua aceitação social e regulatória. Já Reis, (2025) e Eskandaripour; Boldsai Khan, (2023) argumentam que a capacitação de equipes e a gestão da mudança são fatores decisivos para viabilizar a transformação digital.

Portanto, a IA deve ser compreendida não apenas como uma ferramenta tecnológica, mas como um elemento estratégico capaz de remodelar a competitividade empresarial e promover maior sustentabilidade na logística de última milha. Esse entendimento prepara o terreno para a Conclusão, onde são apresentadas as implicações práticas e recomendações para gestores e formuladores de políticas públicas.

## **CONCLUSÃO**

A análise da literatura recente evidencia que a Inteligência Artificial (IA) possui potencial significativo para transformar a logística de última milha, contribuindo simultaneamente para a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental e a melhoria da experiência do consumidor. Estudos mostram que a aplicação de algoritmos de roteirização, sistemas preditivos de demanda e tecnologias como veículos autônomos e drones possibilitam reduções de custos, otimização de recursos e maior confiabilidade nas entregas (Badrinarayanan, 2024; Reis, 2025). Esses ganhos reforçam a percepção de que a IA deixou de ser apenas uma tendência tecnológica para se consolidar como elemento estratégico no setor logístico (Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023; Tao, 2024).

Contudo, os resultados também demonstram que a implementação da IA enfrenta barreiras que não podem ser ignoradas. Entre elas estão os altos custos de investimento, a falta de regulamentação específica para drones e veículos autônomos, a fragmentação e baixa qualidade dos dados e a resistência organizacional à transformação digital (Alverhed et al., 2024; Kumar; Kumar, 2025). Superar essas barreiras exige esforços conjuntos entre empresas, governos e sociedade civil, de modo a criar um ambiente propício para inovação sem comprometer a segurança e a equidade competitiva (Ferreira; Esperança, 2025).

Para o contexto brasileiro, os desafios ganham contornos específicos. O país convive com elevados custos logísticos, infraestrutura urbana deficiente e ausência de regulamentação clara, fatores que limitam a adoção de tecnologias emergentes (Uche Nweje; Moyosore Taiwo, 2025; Zemanek, Jr.; Kros, 2024). Ao mesmo tempo, a crescente pressão por entregas rápidas e sustentáveis, impulsionada pelo avanço do comércio eletrônico, cria um ambiente favorável para a adoção da IA como solução estratégica. Assim, é essencial que políticas públicas sejam formuladas para incentivar a inovação e criar marcos regulatórios claros, além de fomentar programas de capacitação profissional (Ferreira; Esperança, 2025; Reis, 2025).

Conclui-se que a integração da IA à logística de última milha não deve ser compreendida apenas como uma inovação tecnológica, mas como uma transformação estrutural capaz de redefinir a competitividade empresarial e promover maior equilíbrio

entre eficiência e sustentabilidade. Para alcançar esse objetivo, é necessário que empresas invistam em infraestrutura tecnológica e qualificação da força de trabalho, ao mesmo tempo em que governos atuem na construção de regulamentações claras e flexíveis. Em síntese, a IA representa não apenas uma oportunidade de inovação, mas uma necessidade estratégica para empresas que desejam se manter competitivas em um cenário global em rápida transformação (Badrinarayanan, 2024; Eskandaripour; Boldsaikhan, 2023).

## REFERÊNCIAS

ALVERHED, Elin *et al.* **Autonomous last-mile delivery robots: a literature review.** **European Transport Research Review** Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, , 1 dez. 2024.

BADRINARAYANAN, Arvindan. AI-Driven Optimization of Last-Mile Delivery. **International Journal for Multidisciplinary Research**, v. 6, n. 6, 2024.

ESKANDARIPOUR, Hossein; BOLDSAIXHAN, Enkhsaikhan. **Last-Mile Drone Delivery: Past, Present, and Future.** **Drones** Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 fev. 2023.

FERREIRA, Joao C.; ESPERANÇA, Marco. Enhancing Sustainable Last-Mile Delivery: The Impact of Electric Vehicles and AI Optimization on Urban Logistics. **World Electric Vehicle Journal**, v. 16, n. 5, 1 maio 2025.

KUMAR, Krishan; KUMAR, Harish. AI architecture and Logistics Operations (3PL and Freight Forwarders): An empirical study on adaptability and challenges faced in implementing AI architecture and the way forward. **SSRN Product & Services**, 2025.

REIS, João. **Edge Intelligence in Enhancing Last-Mile Delivery Logistics.** **IEEE**, , 23 jul. 2024. Disponível em: <<https://www.preprints.org/manuscript/202407.1777/v1>>

REIS, João. Edge Intelligence in Enhancing Last-Mile Delivery Logistics. **IEEE Access**, v. 13, p. 89236–89247, 2025.

TAO, Yu. The Application of Intelligent Logistics Systems in Supply Chain Management and Its Challenges: Case Studies of Automated Warehousing and Unmanned Delivery. **Frontiers in Business, Economics and Management**, v. 16, 2024.

UCHE NWEJE; MOYOSORE TAIWO. Leveraging Artificial Intelligence for predictive supply chain management, focus on how AI- driven tools are revolutionizing demand forecasting and inventory optimization. **International Journal of Science and Research Archive**, v. 14, n. 1, p. 230–250, 30 jan. 2025.

ZEMANEK, JR., James E.; KROS, John F. Risk-Mitigation Strategies for Autonomous Delivery Vehicles in the Last Mile: A Comprehensive Overview of the Current State and Future Potential of Autonomous Delivery Technologies in the Supply Chain. **Journal of Comprehensive Business Administration Research**, 16 dez. 2024.