

DESAFIOS DA LOGÍSTICA 4.0 NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS
CHALLENGES OF LOGISTICS 4.0 IN THE MANAUS INDUSTRIAL POLE
DESAFÍOS DE LA LOGÍSTICA 4.0 EN EL POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Dione dos anjos Pantoja¹
Keven Shelton Martins Magalhaes²
Luiz Fernando Lima da Silva³

RESUMO: A Logística 4.0 foi consolidada como modelo estratégico fundamentado na integração digital, automação e conectividade sistêmica nas cadeias de suprimentos industriais, especialmente em contextos marcados por desafios estruturais como o Polo Industrial de Manaus. O estudo analisou como a infraestrutura de transporte influenciou os desafios da implementação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus no período de 2022 a 2026. A metodologia adotada foi revisão de literatura com abordagem qualitativa, com levantamento de artigos publicados entre 2022 a 2026 nas bases Scielo, Lilacs e Periódicos Capes, utilizando como palavras-chave Logística 4.0, infraestrutura de transporte, Polo Industrial de Manaus, transformação digital e cadeia de suprimentos, com critérios de inclusão voltados a estudos científicos completos e exclusão de publicações sem rigor acadêmico ou desvinculadas da temática digital. Os resultados indicaram que limitações estruturais nos modais hidroviário e rodoviário impactaram a previsibilidade operacional, elevaram custos logísticos e condicionaram o ritmo de adoção de sistemas inteligentes e automação industrial. A maturidade tecnológica das empresas foi associada à capacidade de adaptação organizacional diante das restrições físicas regionais. A conclusão apontou que a consolidação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus depende de investimentos estruturais integrados à inovação tecnológica, com fortalecimento da infraestrutura de transporte como base para competitividade e desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Automação Industrial. Cadeia De Suprimentos. Transformação Digital.

¹ Orientador - FAMETRO. Administrador, mestre em engenharia de processos - PPGEPI-ITEC-UFPA.

² Tecnólogo em logística - FAMETRO.

³ Tecnólogo em logística - ESTACIO.

ABSTRACT: Logistics 4.0 was consolidated as a strategic model based on digital integration, automation, and systemic connectivity within industrial supply chains, especially in contexts marked by structural challenges such as the Manaus Industrial Pole. The study analyzed how transportation infrastructure influenced the challenges of implementing Logistics 4.0 in the Manaus Industrial Pole during the period from 2022 to 2026. The methodology adopted was a literature review with a qualitative approach, involving a survey of articles published between 2022 and 2026 in the Scielo, Lilacs, and Periódicos Capes databases, using as keywords Logistics 4.0, transportation infrastructure, Manaus Industrial Pole, digital transformation, and supply chain, with inclusion criteria focused on complete scientific studies and exclusion of publications without academic rigor or unrelated to the digital theme. The results indicated that structural limitations in waterway and roadway modes impacted operational predictability, increased logistics costs, and conditioned the pace of adoption of intelligent systems and industrial automation. The technological maturity of companies was associated with their organizational adaptation capacity in the face of regional physical constraints. The conclusion pointed out that the consolidation of Logistics 4.0 in the Manaus Industrial Pole depends on structural investments integrated with technological innovation, with the strengthening of transportation infrastructure as a foundation for competitiveness and sustainable development.

Keywords: Industrial Automation. Supply Chain. Digital Transformation.

RESUMEN: La Logística 4.0 fue consolidada como un modelo estratégico fundamentado en la integración digital, la automatización y la conectividad sistémica en las cadenas de suministro industriales, especialmente en contextos marcados por desafíos estructurales como el Polo Industrial de Manaus. El estudio analizó cómo la infraestructura de transporte influyó en los desafíos de la implementación de la Logística 4.0 en el Polo Industrial de Manaus en el período de 2022 a 2026. La metodología adoptada fue una revisión de literatura con enfoque cualitativo, con levantamiento de artículos publicados entre 2022 y 2026 en las bases de datos Scielo, Lilacs y Periódicos Capes, utilizando como palabras clave Logística 4.0, infraestructura de transporte, Polo Industrial de Manaus, transformación digital y cadena de suministro, con criterios de inclusión orientados a estudios científicos completos y exclusión de publicaciones sin rigor académico o desvinculadas de la temática digital. Los resultados indicaron que las limitaciones estructurales en los modos fluvial y vial impactaron la previsibilidad operativa, elevaron los costos logísticos y condicionaron el ritmo de adopción de sistemas inteligentes y automatización industrial. La madurez tecnológica de las empresas fue asociada a la capacidad de adaptación organizacional frente a las restricciones físicas regionales. La conclusión señaló que la consolidación de la Logística 4.0 en el Polo Industrial de Manaus depende de inversiones estructurales integradas a la innovación tecnológica, con el fortalecimiento de la infraestructura de transporte como base para la competitividad y el desarrollo sostenible.

Palabras Clave: Automatización Industrial. Cadena De Suministro. Transformación Digital.

INTRODUÇÃO

A transformação digital foi consolidada como diretriz estratégica nas cadeias produtivas globais, e novos padrões tecnológicos foram incorporados às operações industriais. A Logística 4.0 foi caracterizada pela integração de sistemas inteligentes, automação e rastreabilidade em tempo real aos fluxos de suprimentos. No contexto brasileiro, exigências estruturais foram impostas aos polos industriais diante dessas mudanças.

O Polo Industrial de Manaus foi reconhecido como um dos principais centros produtivos do país, e sua dinâmica logística foi condicionada por fatores geográficos e estruturais próprios da região amazônica. A dependência dos modais hidroviário, rodoviário e aéreo foi intensificada pelas distâncias dos grandes centros consumidores. Limitações na infraestrutura de transporte foram associadas a impactos diretos sobre custos, prazos e previsibilidade operacional.

Os impactos da infraestrutura de transporte nos desafios da implementação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus foram definidos como foco desta pesquisa no período de 2022 a 2026. A seguinte problemática foi estabelecida: de que forma a infraestrutura de transporte influenciou os desafios da implementação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus? A investigação foi direcionada à análise da relação entre limitações estruturais e integração tecnológica na cadeia de suprimentos industrial.

3

A análise da influência da infraestrutura de transporte sobre os desafios da Logística 4.0 foi estabelecida como objetivo geral deste estudo. A identificação das características dos modais utilizados no polo foi assumida como propósito específico, o exame dos fundamentos e exigências tecnológicas da Logística 4.0 foi definido como eixo complementar e a avaliação dos impactos das limitações estruturais sobre a adoção de tecnologias digitais foi determinada como direcionamento analítico.

A relevância acadêmica e econômica deste trabalho foi fundamentada na importância estratégica do Polo Industrial de Manaus para o desenvolvimento regional e nacional. Contribuições foram direcionadas ao aprofundamento do debate científico sobre inovação logística em regiões com infraestrutura em desenvolvimento. Subsídios técnicos foram oferecidos a gestores públicos e privados interessados na modernização dos sistemas logísticos e na ampliação da competitividade industrial.

MÉTODOS

A pesquisa adotou abordagem qualitativa, pois análise interpretativa foi priorizada na compreensão dos impactos da infraestrutura de transporte nos desafios da implementação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus no período de 2022 a 2026. A revisão de literatura foi definida como procedimento técnico, com levantamento sistemático de produções científicas relacionadas à temática. Lima e Mioto (2007) afirmam que a pesquisa bibliográfica exige rigor metodológico e organização crítica das fontes para a construção do conhecimento científico.

A coleta de dados foi realizada por meio de artigos publicados entre 2022 a 2026, selecionados nas bases de dados Scielo, Lilacs e Periódicos Capes. As palavras-chave utilizadas foram Logística 4.0, infraestrutura de transporte, Polo Industrial de Manaus, transformação digital e cadeia de suprimentos. A seleção do material foi orientada pela pertinência temática e pela aderência aos objetivos propostos.

Como critérios de inclusão foram considerados artigos científicos completos publicados no recorte temporal estabelecido e estudos que abordaram a relação entre infraestrutura de transporte e inovação logística no contexto industrial. Como critérios de exclusão foram desconsideradas publicações sem avaliação por pares e pesquisas que trataram exclusivamente de logística tradicional dissociada de tecnologias digitais.

4

RESULTADOS

Tabela 1 – Resultados de pesquisa

Autor	Objetivo	Título	Ano
Albrecht <i>et al.</i>	Analisar como tecnologias digitais podem ser aplicadas na intralogística e identificar possibilidades de ação na Logística 4.0	Aproveitando tecnologias digitais na Logística 4.0: insights sobre possibilidades de ação a partir de processos de intralogística	2024
Harish <i>et al.</i>	Investigar a aplicação de blockchain na Logística 4.0 e discutir perspectivas futuras	Blockchain para a Logística 4.0: uma revisão sistemática e perspectivas	2025

Lima e Miotto	Discutir procedimentos metodológicos da pesquisa bibliográfica na construção do conhecimento científico	Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica	2007
Machado e Rodriguez	Examinar a Logística 5.0 no Polo Industrial de Manaus com foco em sustentabilidade e resiliência nas cadeias de suprimentos	Logística 5.0 no Polo Industrial de Manaus: sustentabilidade e resiliência nas cadeias de suprimentos de eletrônicos	2025
Perotti <i>et al.</i>	Propor arcabouço conceitual sobre fatores influenciadores, benefícios e barreiras da Logística 4.0 na armazenagem	Logística 4.0 em armazenagem: um arcabouço conceitual de fatores influenciadores, benefícios e barreiras	2022
Qureshi <i>et al.</i>	Investigar tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas à Logística 4.0 para construção de cadeia de suprimentos sustentável	Investigando tecnologias da Indústria 4.0 no uso da Logística 4.0 em direção a uma cadeia de suprimentos de manufatura sustentável	2024
Santos e Abrão Junior	Analisar a integração logística e a infraestrutura na Zona Franca de Manaus	Integração logística e infraestrutura na Zona Franca de Manaus	2025
Silva, Melo e Santiago	Avaliar o nível de maturidade da Indústria 4.0 em empresa do setor de duas rodas na Zona Franca de Manaus	Maturidade da Indústria 4.0: estudo de caso da aplicação de um modelo de maturidade em uma empresa do setor de duas rodas na Zona Franca de Manaus	2025
Souza e Santos	Examinar o avanço da Indústria 4.0 e os desafios logísticos no Polo Industrial de Manaus	Um estudo do avanço da Indústria 4.0 e os desafios logísticos do Polo Industrial de Manaus	2022
Teixeira, Silva e Santiago	Analisar a maturidade na implementação da Indústria 4.0 na gestão de manufatura e operações em empresa do Polo Industrial de Manaus	Estudo de caso sobre a gestão de manufatura e operações de uma empresa termoplástica no Polo Industrial de Manaus: maturidade na implementação da Indústria 4.0	2024

Fonte: Autor (2026).

DISCUSSÃO

Infraestrutura de transporte e dinâmica logística no polo industrial de manaus

A infraestrutura de transporte foi posicionada como elemento determinante para a dinâmica logística no Polo Industrial de Manaus, pois desempenho operacional foi condicionado por fatores geográficos e estruturais específicos da Amazônia. Santos e Abrão Junior (2025) defendem que integração logística foi diretamente impactada pela qualidade e articulação dos modais disponíveis. Dependência hidroviária foi consolidada como característica estrutural do modelo regional. Competitividade industrial foi vinculada à eficiência das conexões físicas existentes.

A limitação estrutural foi interpretada como entrave persistente à fluidez das cadeias de suprimentos, especialmente diante das oscilações sazonais dos rios amazônicos. Impactos sobre prazos e custos foram descritos como recorrentes no contexto regional. Vulnerabilidade logística foi associada à instabilidade ambiental e à precariedade de trechos rodoviários estratégicos. Desafios estruturais foram relacionados ao avanço tecnológico industrial (Souza; Santos, 2022).

A discussão sobre integração modal foi ampliada quando Santos e Abrão Junior (2025) ressaltam que coordenação sistêmica foi necessária para minimizar gargalos históricos. Investimentos públicos foram apresentados como condicionantes para redução de assimetrias estruturais. Infraestrutura fragmentada foi identificada como fator que comprometeu a previsibilidade operacional. Eficiência logística foi compreendida como resultado de articulação entre planejamento e estrutura física adequada.

A dependência de rotas específicas foi interpretada como risco sistêmico para o desempenho industrial. Custos adicionais foram incorporados às operações em razão de atrasos e interrupções logísticas frequentes. Complexidade territorial foi apontada como elemento que intensificou vulnerabilidades regionais. Relação entre infraestrutura e inovação foi problematizada no cenário amazônico (Souza; Santos, 2022).

A análise crítica do cenário regional foi aprofundada quando Machado e Rodriguez (2025) introduzem a perspectiva da Logística 5.0 como resposta à necessidade de resiliência estrutural. Sustentabilidade operacional foi vinculada à modernização da infraestrutura e à incorporação de práticas mais adaptativas. Cadeias de suprimentos resilientes foram

apresentadas como alternativa estratégica frente às fragilidades históricas. Transformação estrutural foi defendida como requisito para estabilidade competitiva.

A articulação entre sustentabilidade e desempenho logístico foi discutida como elemento de transição para modelos mais integrados. Infraestrutura eficiente foi associada à capacidade de absorver choques ambientais e operacionais. Resiliência foi compreendida como resultado de investimentos estruturais contínuos. Estratégias adaptativas foram consideradas fundamentais para consolidação de um sistema logístico robusto (Machado; Rodriguez, 2025).

A tensão entre dependência modal e exigências tecnológicas contemporâneas foi evidenciada na análise de Souza e Santos (2022), pois integração digital foi condicionada pela estabilidade física do transporte. Cadeias produtivas foram impactadas por falhas estruturais que extrapolaram o ambiente interno das empresas. Limitação externa foi interpretada como variável que restringiu avanços tecnológicos. Logística regional foi apresentada como sistema interdependente.

A crítica à insuficiência de políticas estruturantes foi reforçada quando Santos e Abrão Junior (2025) argumentam que ausência de integração plena entre modais comprometeu a eficiência sistêmica. Planejamento estratégico foi apontado como ferramenta indispensável para superação de gargalos. Infraestrutura foi analisada como base material da competitividade industrial. Desenvolvimento regional foi associado à modernização logística.

7

A vulnerabilidade climática foi debatida como fator que intensificou a instabilidade operacional, pois estiagens severas reduziram capacidade de navegação e ampliaram custos. Impactos produtivos foram percebidos de maneira direta nas indústrias instaladas no polo. Risco estrutural foi incorporado à gestão logística como variável permanente. Desempenho industrial foi condicionado por fatores externos significativos (Souza; Santos, 2022).

A discussão avançou ao confrontar a necessidade de sustentabilidade com limitações históricas da infraestrutura regional. Machado e Rodriguez (2025) sustentam que resiliência logística foi dependente de inovação estrutural e tecnológica simultânea. Cadeias de suprimentos sustentáveis foram vinculadas à eficiência ambiental e operacional. Superação de fragilidades foi apresentada como desafio estratégico contínuo.

A perspectiva sistêmica foi reforçada ao considerar que infraestrutura e logística formaram conjunto indissociável no contexto do Polo Industrial de Manaus. Integração física inadequada foi associada à elevação de custos e à redução da competitividade nacional. Gargalos estruturais foram descritos como entraves que transcenderam o planejamento empresarial.

Desenvolvimento industrial foi condicionado por variáveis estruturais persistentes (Santos; Abrão Junior, 2025).

A análise comparativa entre os estudos evidenciou convergência quanto à centralidade da infraestrutura na dinâmica logística regional. Fragilidade estrutural foi relacionada à dificuldade de consolidação de cadeias produtivas eficientes. Impacto econômico foi interpretado como consequência direta da precariedade modal. Competitividade foi vinculada à necessidade de reestruturação sistêmica (Souza; Santos, 2022).

A incorporação de princípios de Logística 5.0 foi debatida como possibilidade de transição para modelo mais resiliente e sustentável. Infraestrutura adaptável foi apresentada como requisito para integração tecnológica consistente. Cadeias de suprimentos inteligentes foram associadas à estabilidade estrutural regional. Modernização foi interpretada como caminho estratégico para consolidação industrial (Machado; Rodriguez, 2025).

Fundamentos e exigências tecnológicas da logística 4.0 na cadeia de suprimentos

A Logística 4.0 foi debatida como desdobramento estratégico da Indústria 4.0, pois integração digital foi incorporada à cadeia de suprimentos como fundamento estrutural da competitividade. Silva, Melo e Santiago (2025) sustentam que maturidade tecnológica foi determinante para consolidação de sistemas inteligentes nas organizações industriais. Transformação logística foi condicionada à interoperabilidade entre setores produtivos. Desempenho operacional foi vinculado à capacidade de integração sistêmica.

A incorporação de tecnologias digitais foi problematizada a partir dos desafios logísticos regionais, pois modernização estrutural foi exigida simultaneamente à adaptação tecnológica. Barreiras operacionais foram associadas à necessidade de conectividade estável e gestão orientada por dados. Cadeias de suprimentos foram pressionadas por exigências de rastreabilidade e sincronização. Integração digital foi compreendida como resposta às limitações estruturais (Souza; Santos, 2022).

A análise da maturidade organizacional foi apresentada como instrumento crítico para avaliação da prontidão tecnológica. Teixeira, Silva e Santiago (2024) defendem que diagnóstico estratégico foi essencial para implementação consistente de práticas da Indústria 4.0. Integração entre manufatura e logística foi tratada como eixo central da transformação. Capacidade gerencial foi apontada como variável decisiva no avanço digital.

A automação da armazenagem foi discutida como requisito operacional da Logística 4.0, pois precisão e agilidade foram demandadas pelas cadeias produtivas contemporâneas. Fatores influenciadores e barreiras estruturais foram identificados como condicionantes da implementação tecnológica. Benefícios operacionais foram relacionados à redução de falhas e aumento da produtividade. Modernização intralogística foi defendida como etapa estratégica (Perotti *et al.*, 2022).

A interoperabilidade sistêmica foi confrontada como desafio prático no contexto industrial, pois integração horizontal e vertical foi exigida para consolidação do modelo digital. Silva, Melo e Santiago (2025) argumentam que maturidade diferenciada entre empresas impactou o ritmo de transformação logística. Desigualdade tecnológica foi interpretada como obstáculo à padronização de processos. Evolução digital foi associada à coordenação organizacional integrada.

A sustentabilidade foi incorporada ao debate como dimensão indissociável da Logística 4.0, pois eficiência ambiental foi vinculada à inovação tecnológica. Tecnologias emergentes foram discutidas como instrumentos para otimização de recursos e redução de desperdícios. Cadeias produtivas sustentáveis foram estruturadas por meio de integração digital avançada. Transformação logística foi alinhada à agenda ambiental contemporânea (Qureshi *et al.*, 2024).

9

A governança de dados foi analisada como pilar estruturante do novo modelo logístico, pois decisões estratégicas foram fundamentadas em análise preditiva e monitoramento contínuo. Teixeira, Silva e Santiago (2024) ressaltam que inteligência analítica foi determinante para melhoria da gestão operacional. Sistemas integrados foram considerados essenciais para previsibilidade logística. Eficiência foi associada ao uso estratégico da informação.

A reconfiguração da intralogística foi discutida como oportunidade de redesenho organizacional orientado por plataformas digitais. Possibilidades de ação tecnológica foram vinculadas à adaptação cultural e estrutural simultânea. Processos internos foram reorganizados a partir da digitalização. Transformação organizacional foi apresentada como requisito para consolidação da Logística 4.0 (Albrecht *et al.*, 2024).

A integração entre fluxos físicos e informacionais foi posicionada como núcleo do modelo 4.0, pois sincronização operacional foi exigida pelas cadeias produtivas globais. Souza e Santos (2022) afirmam que desafios logísticos regionais intensificaram a necessidade de soluções digitais adaptativas. Coordenação tecnológica foi apresentada como mecanismo de

mitigação de ineficiências. Modernização logística foi condicionada à superação de entraves estruturais.

A aplicação de blockchain foi debatida como avanço na segurança e transparência das transações logísticas. Harish *et al.* (2025) defendem que registros descentralizados fortaleceram confiança entre parceiros comerciais. Integridade informacional foi ampliada por sistemas imutáveis de registro. Cadeias de suprimentos foram estruturadas com maior rastreabilidade digital.

A construção de cadeias resilientes foi analisada como resposta às incertezas operacionais contemporâneas. Tecnologias da Indústria 4.0 foram associadas à capacidade de adaptação a eventos disruptivos. Sustentabilidade operacional foi vinculada à integração tecnológica consistente. Redução de riscos foi relacionada ao monitoramento digital contínuo (Qureshi *et al.*, 2024).

A maturidade digital foi confrontada como variável que influenciou diretamente o desempenho logístico regional. Silva, Melo e Santiago (2025) indicam que níveis distintos de implementação impactaram resultados organizacionais. Assimetria tecnológica foi compreendida como desafio à uniformidade sistêmica. Consolidação do modelo 4.0 foi dependente de planejamento estruturado.

10

A digitalização da manufatura foi integrada ao debate logístico, pois operações produtivas foram conectadas aos sistemas de distribuição. Teixeira, Silva e Santiago (2024) argumentam que alinhamento entre setores foi requisito para eficiência ampliada. Integração vertical foi associada à redução de retrabalho e desperdícios. Competitividade foi vinculada à coordenação tecnológica plena.

A automatização de processos internos foi discutida como mecanismo de ganho operacional mensurável. Barreiras financeiras e estruturais foram identificadas como obstáculos iniciais à implementação tecnológica. Benefícios estratégicos foram associados à padronização e precisão logística. Modernização foi tratada como investimento estruturante (Perotti *et al.*, 2022).

A adaptação organizacional foi analisada como dimensão indispensável da transformação digital. Albrecht *et al.* (2024) sustentam que cultura empresarial foi impactada pela introdução de tecnologias inteligentes. Reestruturação de rotinas foi vinculada à consolidação de práticas digitais. Transformação logística foi compreendida como processo sistêmico e progressivo.

A integração tecnológica foi posicionada como estratégia para mitigação de vulnerabilidades estruturais. Souza e Santos (2022) destacam que digitalização foi apresentada como resposta aos desafios logísticos regionais. Cadeias produtivas foram reorganizadas com base em inovação tecnológica. Superação de limitações foi vinculada à adoção de sistemas inteligentes.

A rastreabilidade ampliada foi debatida como requisito de transparência e controle operacional. Harish *et al.* (2025) afirmam que blockchain fortaleceu governança e confiabilidade nas cadeias de suprimentos. Segurança informacional foi ampliada por registros digitais descentralizados. Eficiência sistêmica foi relacionada à integridade dos dados.

A consolidação de cadeias sustentáveis foi tratada como meta estratégica da Logística 4.0. Qureshi *et al.* (2024) defendem que tecnologias emergentes foram direcionadas à redução de impactos ambientais e otimização de recursos. Integração entre sustentabilidade e inovação foi enfatizada. Modernização logística foi alinhada a princípios ambientais contemporâneos.

A avaliação diagnóstica foi discutida como instrumento essencial para planejamento de avanços tecnológicos. Teixeira, Silva e Santiago (2024) indicam que análise estruturada foi determinante para identificação de lacunas organizacionais. Evolução digital foi associada à integração progressiva de sistemas. Desempenho logístico foi condicionado à capacidade adaptativa empresarial.

11

A articulação entre maturidade tecnológica e desempenho operacional foi reiterada como núcleo do debate. Silva, Melo e Santiago (2025) afirmam que integração sistêmica foi requisito para consolidação da cadeia de suprimentos digital. Eficiência e competitividade foram associadas à transformação estruturada. Logística 4.0 foi posicionada como modelo estratégico orientado por conectividade e inteligência analítica.

Impactos das limitações estruturais na adoção de sistemas inteligentes e automação industrial

A adoção de sistemas inteligentes no Polo Industrial de Manaus foi condicionada por limitações estruturais que impactaram diretamente o ritmo de modernização tecnológica. Santos e Abrão Junior (2025) destacam que integração logística foi afetada por fragilidades na infraestrutura de transporte, o que repercutiu na estabilidade operacional das indústrias. Dependência modal foi associada à imprevisibilidade nos fluxos produtivos. Transformação digital foi influenciada por fatores externos às organizações.

A implementação da Indústria 4.0 foi relacionada à necessidade de ambiente estrutural estável, pois automação e conectividade demandaram suporte físico adequado. Gargalos logísticos foram apontados como entraves à consolidação de sistemas integrados. Oscilações operacionais foram refletidas na eficiência produtiva regional. Limitações estruturais foram associadas à dificuldade de sincronização digital (Souza; Santos, 2022).

A maturidade tecnológica foi analisada como variável impactada por fatores estruturais regionais. Silva, Melo e Santiago (2025) afirmam que níveis distintos de implementação foram observados em empresas instaladas na Zona Franca de Manaus. Infraestrutura insuficiente foi relacionada à adoção parcial de tecnologias inteligentes. Desempenho digital foi condicionado à capacidade de adaptação organizacional diante de restrições externas.

A integração entre manufatura e logística foi discutida como requisito para consolidação da automação industrial. Teixeira, Silva e Santiago (2024) defendem que coordenação sistêmica foi necessária para viabilizar práticas avançadas de gestão operacional. Instabilidade estrutural foi associada à dificuldade de integração plena. Eficiência produtiva foi impactada por limitações físicas persistentes.

A infraestrutura de transporte foi posicionada como base material para funcionamento dos sistemas inteligentes. Santos e Abrão Junior (2025) argumentam que falhas estruturais comprometeram previsibilidade e confiabilidade das operações logísticas. Cadeias de suprimentos foram afetadas por atrasos recorrentes. Adoção tecnológica foi condicionada à superação de gargalos históricos.

A conectividade digital foi debatida como elemento central da automação industrial, porém suporte estrutural foi identificado como requisito indispensável. Limitações logísticas foram relacionadas à instabilidade no fluxo de insumos e produtos acabados. Desempenho tecnológico foi influenciado por fatores geográficos específicos da região amazônica. Integração sistêmica foi impactada por vulnerabilidades estruturais (Souza; Santos, 2022).

A avaliação da maturidade organizacional revelou que avanço tecnológico foi gradual e dependente de investimentos contínuos. Silva, Melo e Santiago (2025) ressaltam que consolidação da Indústria 4.0 exigiu alinhamento entre infraestrutura e estratégia empresarial. Barreiras externas foram interpretadas como condicionantes do ritmo de transformação. Digitalização foi associada à capacidade de adaptação estrutural.

A automação de processos produtivos foi analisada como instrumento de aumento de eficiência, porém estabilidade logística foi considerada condição necessária para resultados

consistentes. Teixeira, Silva e Santiago (2024) indicam que integração de sistemas foi impactada por limitações estruturais regionais. Planejamento operacional foi ajustado diante de incertezas logísticas. Desempenho industrial foi vinculado à infraestrutura disponível.

A dependência de modais específicos foi interpretada como fator de risco para consolidação de sistemas inteligentes. Santos e Abrão Junior (2025) destacam que ausência de diversificação estrutural ampliou vulnerabilidades operacionais. Cadeias produtivas foram expostas a interrupções recorrentes. Adoção tecnológica foi impactada por instabilidade logística.

A digitalização foi apresentada como alternativa para mitigação de ineficiências estruturais, embora limitações físicas tenham restringido resultados plenos. Souza e Santos (2022) afirmam que tecnologias da Indústria 4.0 foram implementadas em contexto de desafios logísticos persistentes. Integração digital foi direcionada à compensação de falhas operacionais. Eficiência sistêmica foi condicionada à superação de entraves regionais.

A maturidade tecnológica foi confrontada com a realidade estrutural amazônica, pois investimentos em inovação foram realizados em ambiente logístico complexo. Silva, Melo e Santiago (2025) defendem que evolução digital foi associada à capacidade estratégica das organizações. Desigualdade estrutural foi reconhecida como variável de impacto. Transformação industrial foi desenvolvida de forma progressiva.

13

A gestão de operações foi analisada sob perspectiva integrada, pois coordenação entre setores produtivos foi exigida pela automação avançada. Teixeira, Silva e Santiago (2024) sustentam que alinhamento organizacional foi essencial para consolidação tecnológica. Infraestrutura limitada foi considerada obstáculo adicional. Eficiência operacional foi vinculada à integração sistêmica.

A relação entre infraestrutura e tecnologia foi discutida como interdependente no contexto regional. Santos e Abrão Junior (2025) ressaltam que desenvolvimento logístico foi condição para fortalecimento da competitividade industrial. Modernização estrutural foi associada à ampliação da capacidade tecnológica. Sistemas inteligentes foram influenciados por fatores físicos externos às empresas.

A consolidação da automação industrial no Polo Industrial de Manaus foi apresentada como processo condicionado por variáveis estruturais e estratégicas simultaneamente. Souza e Santos (2022) destacam que desafios logísticos impactaram diretamente o ritmo de implementação digital. Integração tecnológica foi desenvolvida em ambiente de restrições

persistentes. Superação de limitações estruturais foi posicionada como requisito para avanço consistente dos sistemas inteligentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida evidenciou que os desafios da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus foram diretamente influenciados pelas condições estruturais da região. A relação entre infraestrutura de transporte e transformação digital foi confirmada como elemento central da dinâmica produtiva. Limitações físicas foram associadas a impactos sobre eficiência, previsibilidade e integração sistêmica. A complexidade regional foi reconhecida como fator determinante para o desempenho logístico.

O objetivo proposto foi alcançado por meio da investigação da influência da infraestrutura de transporte sobre a implementação de sistemas inteligentes e automação industrial. A relação entre modais hidroviário, rodoviário e aéreo e a adoção tecnológica foi examinada de forma consistente. Impactos estruturais foram identificados como condicionantes do ritmo de transformação digital. A análise demonstrou que integração logística foi dependente de base física adequada.

A compreensão dos fundamentos da Logística 4.0 foi aprofundada ao longo do estudo, com ênfase na conectividade, automação e governança de dados. Exigências tecnológicas foram associadas à necessidade de interoperabilidade e sincronização entre os elos da cadeia de suprimentos. Maturidade digital foi vinculada à capacidade organizacional e às condições estruturais disponíveis. Transformação tecnológica foi interpretada como processo sistêmico e progressivo.

As limitações estruturais foram discutidas como variáveis que impactaram diretamente a consolidação de sistemas inteligentes no contexto amazônico. Gargalos logísticos foram relacionados à instabilidade operacional e à elevação de custos. Dependência modal foi reconhecida como elemento de vulnerabilidade estratégica. Superação desses entraves foi apresentada como condição para fortalecimento competitivo.

A relevância do Polo Industrial de Manaus para a economia nacional reforçou a importância da modernização logística regional. Investimentos em infraestrutura foram associados à ampliação da competitividade industrial. Desenvolvimento regional foi compreendido como resultado de integração entre inovação tecnológica e melhoria estrutural. Logística eficiente foi posicionada como base para crescimento sustentável.

A articulação entre políticas públicas, planejamento estratégico empresarial e inovação tecnológica foi apresentada como caminho necessário para consolidação da Logística 4.0. Infraestrutura fortalecida foi vinculada à estabilidade operacional e à atração de novos investimentos. Sistemas inteligentes foram reconhecidos como instrumentos de ganho de eficiência e transparência. Transformação estrutural foi defendida como prioridade estratégica.

A pesquisa reafirmou que os desafios identificados não se limitaram ao ambiente interno das organizações, pois fatores externos exerceram influência significativa sobre o desempenho logístico. Integração tecnológica foi condicionada à superação de fragilidades históricas da infraestrutura regional. Avanços foram possíveis, ainda que desenvolvidos em cenário de restrições persistentes. A consolidação da Logística 4.0 no Polo Industrial de Manaus foi compreendida como processo contínuo, dependente de investimentos estruturais e alinhamento estratégico.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, T. *et al.* Aproveitando tecnologias digitais na Logística 4.0: insights sobre possibilidades de ação (affordances) a partir de processos de intralogística. **Information Systems Frontiers**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10796-023-10394-6>. Acesso em maio. 2026.

HARISH, A. *et al.* Blockchain para a Logística 4.0: uma revisão sistemática e perspectivas. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104269>. Acesso em maio. 2026.

LIMA, Telma Cristiane Sasso; MIOTO, Regina Célia Tamaso. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálisis**, Florianópolis, v. 10, n. esp., p. 37-45, 2007.

MACHADO, Nazaré Toyoda; RODRIGUEZ, Carlos Manoel Taboada. Logística 5.0 no Polo Industrial de Manaus: sustentabilidade e resiliência nas cadeias de suprimentos de eletrônicos. **Revista de Gestão Social e Ambiental**. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n5-031>. Acesso em maio. 2026.

PEROTTI, S. *et al.* Logística 4.0 em armazenagem: um arcabouço conceitual de fatores influenciadores, benefícios e barreiras. **The International Journal of Logistics Management**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2022-0068>. Acesso em maio. 2026.

QURESHI, K. M. *et al.* Investigando tecnologias da Indústria 4.0 no uso da Logística 4.0 em direção a uma cadeia de suprimentos de manufatura sustentável. **Heliyon**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30661>. Acesso em maio. 2026.

SANTOS, Natasha Pessoa; ABRÃO JUNIOR, Ali Antônio. Integração logística e infraestrutura na Zona Franca de Manaus. **EnGeTec em Revista**. 2025. Disponível em: <https://zenodo.org/records/15594842>. Acesso em maio. 2026.

SILVA, André Luiz Viana da; MELO, Daniel Reis Armond de; SANTIAGO, Sandro Breval. Maturidade da Indústria 4.0: estudo de caso da aplicação de um modelo de maturidade em uma empresa do setor de duas rodas na Zona Franca de Manaus. **Anais da 6ª Conferência Sul-Americana de Engenharia Industrial e Gestão de Operações (IEOM Society International)**. 2025. Disponível em: <https://ieomsociety.org/proceedings/brazil2025/48.pdf>. Acesso em maio. 2026.

SOUZA, Carolina Gonçalves de; SANTOS, Luciano Balbino dos. Um estudo do avanço da Indústria 4.0 e os desafios logísticos do Polo Industrial de Manaus. **Revista Foco**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v15n4-005>. Acesso em maio. 2026.

TEIXEIRA, Ericka Lorryne Vieira; SILVA, Isaqueu Silva e; SANTIAGO, Sandro Breval. Estudo de caso sobre a gestão de manufatura e operações de uma empresa termoplástica no Polo Industrial de Manaus: maturidade na implementação da Indústria 4.0. **Anais do CONBREPRO**. 2024. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2024/arquivos/10282024_221009_67203cf9436d4.pdf. Acesso em maio. 2026.