

INDÚSTRIA 4.0 E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Ana Beatriz Mota de Oliveira¹
Carmem Adriana da Silva Nunes²
Elene dos Santos Silva³
Ricardo Augusto Lunière Fonseca⁴

RESUMO: A Indústria 4.0 e a transformação digital têm promovido mudanças significativas nos processos produtivos, tornando-se fatores estratégicos para o aumento da eficiência, da produtividade e da competitividade industrial. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar, por meio da literatura científica, os desafios e as perspectivas da Indústria 4.0 e da transformação digital para a melhoria da eficiência dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus. A pesquisa caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa, natureza descritiva e procedimento bibliográfico, desenvolvida a partir de artigos científicos, dissertações e teses obtidos nas bases Google Acadêmico e SciELO. Os resultados evidenciaram que a adoção de tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Big Data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos contribuem para a integração dos processos, redução de desperdícios, otimização da gestão da produção e fortalecimento da competitividade das empresas instaladas no Polo Industrial de Manaus. Entretanto, também foram identificados desafios relacionados aos elevados custos de implementação, limitações logísticas da região amazônica, necessidade de modernização da infraestrutura tecnológica e qualificação da mão de obra. Conclui-se que a transformação digital representa uma oportunidade para a consolidação do Polo Industrial de Manaus, desde que sejam ampliados os investimentos em inovação, infraestrutura, capacitação profissional e desenvolvimento tecnológico, favorecendo a consolidação da Indústria 4.0 e a modernização dos processos produtivos.

1

Palavras-chave: Indústria 4.0. Transformação digital. Polo Industrial de Manaus.

Keywords: Industry 4.0. Digital Transformation. Manaus Industrial Pole.

¹ Tecnóloga em Gestão da Produção Industrial - Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO. Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO.

² Tecnóloga em Logística - Universidade Paulista – UNIP. Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO.

³ Licenciatura em Ciências Biológicas - ULBRA Manaus (ULBRA-MAO). Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus – FAMETRO.

⁴ Bacharel em Administração de Empresas; Mestre em Administração pela Universidade Federal de Viçosa (UFV); Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Auditor de carreira da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e Orientador do artigo. Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

I INTRODUÇÃO

As transformações tecnológicas observadas nas últimas décadas têm promovido mudanças significativas nos sistemas produtivos, impulsionadas pelo avanço da conectividade, da automação, da análise de dados em tempo real e da integração entre equipamentos e sistemas. Nesse contexto, a Indústria 4.0 consolidou-se como um novo paradigma industrial, caracterizado pela convergência entre tecnologias digitais e processos de manufatura, favorecendo ganhos em produtividade, qualidade, flexibilidade e competitividade (Rodrigues; De Queiroga; Milhossi, 2022). Associada a esse cenário, a transformação digital representa uma mudança estratégica que ultrapassa a simples adoção de tecnologias, envolvendo a reestruturação dos processos organizacionais e dos modelos de gestão para atender às exigências de mercados cada vez mais dinâmicos e conectados (Cardoso; Brum, 2025).

No Brasil, a incorporação das tecnologias da Indústria 4.0 ocorre de forma heterogênea entre os diferentes setores industriais. Entre os principais polos produtivos do país destaca-se o Polo Industrial de Manaus (PIM), cuja relevância econômica está relacionada à concentração de empresas dos setores eletroeletrônico, metalúrgico, de duas rodas, termoplástico e bens de consumo. Diante das mudanças provocadas pela Quarta Revolução Industrial, esse complexo industrial vem ampliando investimentos em inovação e digitalização dos processos como estratégia para fortalecer sua competitividade (Aracaty *et al.*, 2021).

2

Estudos desenvolvidos na região amazônica demonstram que a aplicação de tecnologias associadas à Indústria 4.0 tem proporcionado melhorias na eficiência dos processos produtivos, como observado na fabricação de baterias de lítio e nos processos de injeção plástica, nos quais a utilização de sistemas inteligentes, automação e monitoramento digital contribuiu para ganhos operacionais (Damasceno *et al.*, 2024). Entretanto, a literatura também evidencia desafios relacionados aos elevados investimentos, à infraestrutura tecnológica, à qualificação profissional e à integração dos sistemas, fatores que ainda dificultam a consolidação da transformação digital no Polo Industrial de Manaus (Andrade *et al.*, 2024).

Além da manufatura, a modernização tecnológica influencia áreas estratégicas como logística, gestão da qualidade, manutenção e planejamento das operações. Estudos apontam que a transformação digital favorece maior eficiência logística, aprimora os sistemas de controle da qualidade e amplia a utilização de tecnologias voltadas à manutenção preditiva, contribuindo para a redução de falhas e para o aumento da produtividade industrial (Souza; Santos, 2022).

Paralelamente, as discussões mais recentes apontam para a evolução em direção à Indústria 5.0, modelo que busca integrar inovação tecnológica, sustentabilidade e valorização do fator humano nos processos produtivos (Martins; Franqueira; Silva, 2023).

Considerando a importância do Polo Industrial de Manaus para o desenvolvimento econômico da Amazônia e os desafios impostos pela transformação digital, torna-se relevante compreender como a literatura científica tem abordado a implementação da Indústria 4.0 e seus reflexos sobre a eficiência dos processos produtivos. Embora existam estudos que discutam aplicações tecnológicas específicas, observa-se a necessidade de reunir e analisar de forma integrada as evidências disponíveis sobre os desafios, oportunidades e perspectivas da transformação digital no contexto regional.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca responder à seguinte questão norteadora: quais são os desafios e as perspectivas da Indústria 4.0 e da transformação digital para a melhoria da eficiência dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus? Para responder a essa questão, o estudo tem como objetivo geral analisar, por meio da literatura científica, os desafios e as perspectivas da Indústria 4.0 e da transformação digital para a melhoria da eficiência dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus. Como objetivos específicos, pretende apresentar os conceitos, características e tecnologias associadas à Indústria 4.0 e à transformação digital; identificar os principais desafios relacionados à implementação da Indústria 4.0 no contexto do Polo Industrial de Manaus; e analisar as contribuições da transformação digital para a eficiência, produtividade e competitividade dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria 4.0: Conceitos, Evolução e Principais Tecnologias

A evolução dos sistemas produtivos acompanha o avanço tecnológico e as transformações na organização industrial. Segundo Duarte *et al.* (2025), a Primeira Revolução Industrial foi marcada pela mecanização, a Segunda pela eletrificação e produção em massa, e a Terceira pela automação e informatização dos processos. Para Schwab (2016), a Quarta Revolução Industrial integra tecnologias físicas, digitais e biológicas, consolidando a Indústria 4.0 como um modelo produtivo baseado em conectividade, integração e inteligência dos sistemas (Lima; Gomes, 2020).

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração entre máquinas, sistemas e pessoas por meio da comunicação em tempo real, favorecendo maior eficiência operacional e melhor tomada de decisão. Conforme Pompeu e De Castro Oliveira (2021), esse modelo resulta da convergência entre recursos físicos e digitais. Entre as principais tecnologias habilitadoras destacam-se a Internet das Coisas (IoT), os sistemas ciberfísicos e os sistemas de supervisão industrial, que ampliam o monitoramento e a rastreabilidade dos processos (Sousa; Torres; Araújo, 2023). Leite *et al.* (2024) acrescentam que a transformação digital também depende da integração dessas tecnologias às estratégias organizacionais.

Outro aspecto central da Indústria 4.0 é o uso estratégico dos dados para aprimorar o desempenho industrial. Brynjolfsson e Yang (1996) demonstraram que os investimentos em tecnologia da informação geram ganhos de produtividade quando associados a mudanças organizacionais. Atualmente, Big Data, Inteligência Artificial e computação em nuvem permitem processar grandes volumes de dados e apoiar decisões mais ágeis e precisas. Nesse contexto, a Inteligência Artificial fortalece a capacidade analítica das empresas, enquanto a computação em nuvem amplia a integração das informações entre os setores (David, 2025).

Os benefícios da Indústria 4.0 refletem-se na competitividade e na eficiência dos processos produtivos. Takayama e Panhan (2022) destacam a redução de desperdícios, o aumento da flexibilidade e a melhoria do desempenho operacional. De forma semelhante, Cavalcante e Corrêa (2021) apontam que a maturidade tecnológica é um diferencial competitivo. Além disso, a integração entre tecnologias digitais e gestão da qualidade fortalece a melhoria contínua dos processos, enquanto a combinação entre inovação, gestão inteligente e sustentabilidade impulsiona o desenvolvimento industrial.

2.2 Transformação Digital e seus Impactos nos Processos Produtivos

A transformação digital é um dos principais fatores de mudança dos modelos de gestão e dos sistemas produtivos, indo além da simples informatização de processos. Segundo Rogers (2017), trata-se de uma transformação estratégica baseada na inovação, que exige mudanças nos modelos de negócio e na gestão. Nesse contexto, a integração de tecnologias digitais amplia a conexão entre processos, pessoas e informações, fortalecendo a competitividade das organizações. Além disso, contribui para a melhoria da qualidade e da eficiência dos processos, favorecendo a sustentabilidade organizacional (Junior, 2026).

A digitalização dos processos produtivos promove maior integração entre equipamentos, sistemas e profissionais, permitindo o monitoramento em tempo real e o compartilhamento de informações (Leite *et al.*, 2024). A integração melhora a tomada de decisão, enquanto os sistemas ERP centralizam informações e fortalecem a coordenação das operações. Complementarmente, Rozenfeld e Amaral (2006) afirmam que a integração entre processos e equipes reduz falhas de comunicação e aumenta a eficiência operacional, contribuindo também para a redução de desperdícios.

A transformação digital impacta diretamente a produtividade e a eficiência operacional. Brynjolfsson e Yang (1996) demonstraram que investimentos em tecnologia da informação geram ganhos de produtividade quando acompanhados por mudanças organizacionais. Atualmente, a automação inteligente, os sistemas integrados e a análise de dados reduzem erros, otimizam recursos e elevam a capacidade produtiva (De Oliveira *et al.*, 2024). Além disso, essas tecnologias aprimoram o controle operacional e os indicadores de desempenho, fortalecendo a competitividade e reduzindo custos de transação.

O uso estratégico dos dados também se destaca como elemento essencial da transformação digital. McAfee e Brynjolfsson (2017) afirmam que organizações orientadas por dados apresentam maior capacidade de adaptação e identificação de oportunidades. Nesse cenário, a Inteligência Artificial amplia o potencial analítico por meio de análises preditivas (Ferreira *et al.*, 2026). No Polo Industrial de Manaus, sua aplicação já demonstra ganhos na otimização dos processos produtivos e no controle operacional, enquanto a adoção de tecnologias da informação fortalece a inovação e a competitividade das empresas (Gouveia; De Barros, 2025).

2.3 O Polo Industrial de Manaus e os Desafios da Modernização Tecnológica

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos principais instrumentos de desenvolvimento econômico da Amazônia, impulsionado pelas políticas da Zona Franca de Manaus. Desde sua implantação, tem promovido a geração de empregos, a atração de investimentos e a diversificação da atividade industrial (Rey, 2019). Além da importância econômica, contribui para a preservação da floresta amazônica ao concentrar a produção em área urbana (Salazar *et al.*, 2023). Nesse contexto, os incentivos fiscais estimularam a modernização do parque industrial, tornando a inovação e a atualização tecnológica

fundamentais para manter a competitividade. Conforme Schwab (2016), esse cenário exige a incorporação de tecnologias da Quarta Revolução Industrial aos sistemas produtivos.

A transformação digital tem impulsionado mudanças na dinâmica produtiva do PIM por meio da automação, conectividade e integração dos processos. Rogers (2017) destaca que esse processo envolve mudanças estratégicas que vão além da adoção de tecnologias. Em um parque industrial diversificado, a modernização tecnológica tornou-se essencial para elevar a eficiência e a competitividade. Nesse sentido, a transformação digital fortalece a integração entre tecnologias, processos e estratégias organizacionais (Do Vale *et al.*, 2024). Contudo, a adoção da Indústria 4.0 ainda ocorre em diferentes níveis de maturidade entre as empresas do PIM.

Apesar dos avanços, a implementação da Indústria 4.0 enfrenta desafios relacionados às características logísticas e estruturais da região amazônica. As limitações do transporte, a dependência do modal fluvial e a distância dos principais mercados elevam os custos operacionais e dificultam a eficiência das cadeias de suprimentos (De Souza; Dos Santos, 2022). Além disso, a implantação de tecnologias digitais exige investimentos em infraestrutura, conectividade e integração de sistemas. Andrade *et al.* (2024) ressaltam que restrições financeiras, resistência às mudanças e dificuldades de integração tecnológica também dificultam esse processo. Para Machado (2025), o avanço da maturidade tecnológica depende da articulação entre infraestrutura, gestão e tecnologias digitais.

Outro desafio refere-se à qualificação da mão de obra para atender às demandas da manufatura digital. O avanço da automação, da inteligência artificial e da análise de dados exige profissionais com competências técnicas especializadas. Entretanto, a escassez de trabalhadores qualificados ainda limita a evolução tecnológica das empresas do PIM (Costa; Rodriguez, 2025). Assim, a literatura evidencia que a modernização industrial depende da combinação entre inovação, capacitação profissional e fortalecimento das capacidades organizacionais (Franco; De Araújo, 2023), permitindo que o Polo Industrial de Manaus amplie sua competitividade por meio da transformação digital.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracterizou-se como uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa, natureza descritiva e procedimento técnico bibliográfico. A abordagem qualitativa possibilitou a interpretação crítica da produção científica sobre Indústria 4.0,

transformação digital e modernização tecnológica no Polo Industrial de Manaus (Silva; Paiva, 2022). A definição do percurso metodológico considerou a relação entre a questão norteadora, os objetivos da pesquisa, as fontes consultadas e a organização da análise, conforme orientações gerais para pesquisas na área de Administração (Kruger, 2023).

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida a partir da consulta de artigos científicos, dissertações e teses. Segundo Campos *et al.* (2023), esse método permite reunir e analisar o conhecimento científico produzido sobre determinado tema. A revisão narrativa foi adotada por possibilitar uma análise ampla e interpretativa da literatura, integrando diferentes perspectivas teóricas (Fernandes; Vieira; Castelhana, 2023). Dessa forma, o estudo buscou reunir produções científicas relacionadas à Indústria 4.0, à transformação digital e aos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus.

As buscas foram realizadas nas bases Google Acadêmico (Google Scholar) e Scientific Electronic Library Online (SciELO), utilizando os descritores “Indústria 4.0”, “transformação digital”, “processos produtivos”, “eficiência operacional”, “Polo Industrial de Manaus” e “Zona Franca de Manaus”. Os termos foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, visando ampliar e direcionar os resultados encontrados. Entre as combinações utilizadas estiveram: “Indústria 4.0” AND “Polo Industrial de Manaus”; “transformação digital” AND “processos produtivos”; “eficiência operacional” AND “Zona Franca de Manaus”; e “Indústria 4.0” OR “transformação digital”.

Como critérios de inclusão, foram selecionadas publicações em português e inglês, disponíveis em texto completo, indexadas nas bases Google Acadêmico (Google Scholar) e Scientific Electronic Library Online (SciELO), com aderência ao tema e aos objetivos da pesquisa. Foi adotado como recorte temporal o período de 2020 a 2026, por compreender as publicações mais recentes sobre Indústria 4.0, transformação digital e processos produtivos no Polo Industrial de Manaus. Excepcionalmente, também foram incluídas obras clássicas anteriores a esse período quando consideradas fundamentais para a fundamentação conceitual e metodológica do estudo, como aquelas relacionadas à Quarta Revolução Industrial, transformação digital e metodologia científica. Foram priorizados estudos que abordassem a aplicação da Indústria 4.0, maturidade digital, automação, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, logística, eficiência operacional, produtividade e competitividade, especialmente no contexto da Zona Franca de Manaus e do Polo Industrial de Manaus.

Como critérios de exclusão, foram desconsideradas publicações duplicadas, estudos sem acesso ao texto completo, resumos simples, trabalhos de conclusão de curso sem relação direta com o tema, materiais jornalísticos, documentos institucionais sem fundamentação científica, textos sem autoria identificada e estudos cujo objeto de análise não estivesse relacionado à Indústria 4.0, à transformação digital ou aos processos produtivos industriais. Também foram excluídas publicações que, embora tratassem de tecnologias digitais, abordavam exclusivamente contextos distintos do setor industrial ou não contribuíam para responder à questão norteadora e aos objetivos da presente pesquisa.

O processo de seleção seguiu quatro momentos. Inicialmente, realizou-se a busca exploratória nas bases de dados utilizando os descritores definidos. Em seguida, foram examinados os títulos, resumos e palavras-chave dos materiais localizados. Posteriormente, foram selecionados estudos considerados com aderência, com leitura integral, analítica e interpretativa. Após a seleção final, as informações foram organizadas conforme os eixos temáticos definidos no trabalho: conceitos e tecnologias da Indústria 4.0; desafios para sua implementação no Polo Industrial de Manaus; contribuições da transformação digital para a eficiência, produtividade e competitividade; e fatores institucionais relacionados aos investimentos em modernização produtiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Conceitos, características e tecnologias associadas à Indústria 4.0 e à transformação digital

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração de tecnologias digitais aos processos produtivos, promovendo maior conectividade entre máquinas, equipamentos e sistemas de gestão. Nesse contexto, a transformação digital ultrapassa a simples automação, envolvendo mudanças estratégicas na forma de produzir e gerenciar informações. No Polo Industrial de Manaus (PIM), esse processo tem sido fundamental para ampliar a competitividade das empresas e impulsionar a inovação. Segundo Do Vale *et al.* (2024), a evolução tecnológica da Zona Franca de Manaus aproxima o setor industrial dos princípios da Indústria 4.0 e da Sociedade 5.0. Da mesma forma, Zenon (2023) destaca que a modernização tecnológica é essencial para garantir o desenvolvimento econômico e a competitividade do modelo Zona Franca de Manaus.

Entre as principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 destacam-se a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, computação em nuvem, robótica e sistemas ciberfísicos, que permitem maior integração entre os processos produtivos. Para Takayama e Panhan (2022), essas tecnologias tornam a produção mais flexível, inteligente e eficiente. No contexto do PIM, Júnior *et al.* (2024) demonstram que a utilização da arquitetura RAMI integrada ao indicador OEE melhora o monitoramento da produção, enquanto Soares *et al.* (2024) verificaram que a aplicação de IA e IoT na inspeção de placas eletrônicas aumentou a precisão e reduziu falhas. Além disso, Pereira e Ordonez (2024) evidenciam que a integração entre transformação digital e Lean Manufacturing potencializa a melhoria contínua e reduz desperdícios.

A implementação dessas tecnologias depende do nível de maturidade digital das organizações, exigindo planejamento, investimentos e desenvolvimento de competências. Wagire *et al.* (2020) afirmam que os modelos de maturidade auxiliam na avaliação da capacidade das empresas para implementar a Indústria 4.0. No Polo Industrial de Manaus, Lima, Santiago e Oliveira Junior (2022) identificaram diferentes níveis de maturidade entre empresas do setor industrial, demonstrando que a transformação digital ocorre de forma gradual e depende da integração entre estratégia, inovação, gestão e tecnologia para produzir resultados consistentes.

4.2 Desafios para a implementação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus

Embora a Indústria 4.0 apresente elevado potencial para modernizar os processos produtivos, sua implementação no Polo Industrial de Manaus ainda enfrenta diversos obstáculos. Entre as principais barreiras destacam-se os elevados custos de investimento, a necessidade de atualização da infraestrutura tecnológica e a dificuldade de integração entre sistemas produtivos. Andrade *et al.* (2024) destacam que essas limitações reduzem a velocidade da transformação digital nas empresas do PIM, dificultando a incorporação de tecnologias capazes de otimizar o monitoramento, a automação e o controle da produção. Em nível nacional, Pacchini *et al.* (2020) também apontam que questões financeiras, culturais e tecnológicas estão entre os principais entraves para a consolidação da Indústria 4.0, demonstrando que esse cenário não é exclusivo do Polo Industrial de Manaus. Além disso, Gomes (2020) ressalta que esses desafios estão relacionados ao próprio processo de modernização da indústria brasileira, evidenciando que a transformação digital exige mudanças estruturais que vão além da aquisição de equipamentos. Dessa forma, observa-se que a limitação de recursos financeiros e

tecnológicos compromete diretamente a eficiência dos processos produtivos, uma vez que reduz a capacidade das empresas de investir em inovação contínua e de responder às novas exigências do mercado.

Além dos aspectos financeiros e tecnológicos, a maturidade digital das empresas do PIM também é influenciada por fatores organizacionais e culturais. A implementação da Indústria 4.0 requer mudanças na cultura organizacional, revisão dos modelos de gestão e desenvolvimento de estratégias voltadas à inovação, o que nem sempre ocorre de forma planejada. Nesse contexto, Costa e Rodriguez (2025) identificam que as barreiras à robotização estão relacionadas não apenas às limitações técnicas, mas também à dificuldade das organizações em reconhecer os benefícios de longo prazo proporcionados pelos investimentos em tecnologias digitais. Essa resistência tende a retardar a adoção de soluções inovadoras, mantendo processos produtivos baseados em modelos convencionais, com menor integração entre setores e menor capacidade de utilização de dados para apoiar a tomada de decisão. Assim, a transformação digital depende tanto da disponibilidade tecnológica quanto da capacidade gerencial das empresas em conduzir mudanças organizacionais e desenvolver uma cultura favorável à inovação.

Outro desafio relevante refere-se à logística e à gestão da cadeia de suprimentos, fatores que exercem influência direta sobre a eficiência dos processos produtivos das empresas instaladas na região amazônica. As particularidades geográficas do Polo Industrial de Manaus, marcadas pela dependência do transporte fluvial, pelas grandes distâncias em relação aos principais mercados consumidores e pelos elevados custos logísticos, tornam a integração entre fornecedores, produção e distribuição ainda mais complexa. De Souza e Dos Santos (2022) afirmam que esse cenário torna indispensável a adoção de soluções digitais para otimizar o transporte, o armazenamento e o fluxo de materiais. De forma semelhante, Moraes (2023) demonstra que cadeias de suprimentos inteligentes favorecem maior sincronização das operações e melhor utilização das informações ao longo do processo produtivo, enquanto Ribeiro e Santiago (2024) destacam que a evolução da maturidade da cadeia de suprimentos depende da integração entre tecnologia, gestão de dados e planejamento estratégico. Complementando essa discussão, Pantoja, Magalhães e Da Silva (2026) reforçam que a Logística 4.0 representa um dos maiores desafios para o avanço da transformação digital no

PIM, pois a baixa integração logística compromete a continuidade da produção, aumenta os custos operacionais e reduz a competitividade industrial.

Além das limitações tecnológicas, organizacionais e logísticas, a qualificação profissional constitui outro fator determinante para a implementação da Indústria 4.0. O avanço da automação, da Inteligência Artificial e da análise de dados exige profissionais capazes de operar tecnologias complexas, interpretar informações em tempo real e atuar em ambientes produtivos altamente integrados. Lopes (2022) destaca que muitas empresas da Zona Franca de Manaus ainda enfrentam dificuldades para adaptar seus processos ao novo cenário tecnológico, enquanto Peixoto e Da Matta (2023) ressaltam que a formação de profissionais com competências digitais tornou-se uma condição indispensável para o sucesso da transformação industrial. Essa dificuldade torna-se ainda mais evidente em empresas de menor porte, nas quais a limitação de recursos reduz a capacidade de investimento em inovação e capacitação, conforme observado por Dos Santos, Dos Santos e De Oliveira Moraes (2025). Por sua vez, Figueiredo *et al.* (2022) defendem que o fortalecimento da inovação, dos programas de incentivo e da maturidade dos modelos de negócio é essencial para ampliar a adoção da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus. Em conjunto, esses estudos demonstram que a superação dos desafios enfrentados pelas empresas depende de uma abordagem integrada, envolvendo investimentos em infraestrutura tecnológica, qualificação profissional, inovação organizacional e fortalecimento da cadeia logística, fatores indispensáveis para elevar a eficiência dos processos produtivos e consolidar a transformação digital no PIM.

4.3 Contribuições da transformação digital para a eficiência, produtividade e competitividade dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus

A literatura demonstra que a transformação digital tem proporcionado ganhos expressivos de eficiência e produtividade nas empresas do Polo Industrial de Manaus. A incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 possibilita maior controle dos processos, redução de desperdícios, monitoramento em tempo real e melhoria da qualidade dos produtos. Damasceno *et al.* (2024) verificou que a aplicação dessas tecnologias na produção de baterias de lítio resultou em maior eficiência operacional e confiabilidade dos processos. De forma semelhante, Ferreira, Campos e Leite (2025) observaram que a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 em processos de injeção plástica promoveu redução de falhas, aumento da produtividade e melhoria do desempenho industrial.

Outro aspecto importante refere-se à utilização de ferramentas digitais para otimizar a gestão da produção e apoiar a tomada de decisões. De Araújo *et al.* (2024) demonstraram que a implementação de um sistema de Kanban eletrônico com Inteligência Artificial aumentou a integração entre os setores produtivos e reduziu o tempo de resposta das operações em uma indústria do PIM. Resultados semelhantes foram encontrados por De Souza e Terazzi (2025), que evidenciaram os benefícios da digitalização da gestão da produção por meio de um sistema interno baseado em Kanban. Além disso, Monteiro *et al.* (2024) destacam que o monitoramento da eficiência produtiva por meio do indicador OEE permite identificar gargalos e direcionar ações de melhoria contínua nos processos industriais.

Além dos ganhos operacionais, a transformação digital fortalece a competitividade das empresas ao ampliar sua capacidade de inovação, reduzir custos e tornar a gestão mais estratégica. Santiago *et al.* (2026) demonstram que a utilização de Inteligência Artificial para gestão preditiva de custos contribui para decisões mais rápidas e precisas, aumentando a eficiência econômica das organizações. Da mesma forma, Tavares (2026) ressalta que a integração de tecnologias emergentes na logística e na cadeia de suprimentos fortalece o desempenho organizacional e a capacidade de resposta às demandas do mercado. Em conjunto, esses estudos evidenciam que a transformação digital constitui um importante diferencial competitivo para as empresas do Polo Industrial de Manaus, contribuindo para processos produtivos mais inteligentes, sustentáveis e alinhados às exigências da indústria contemporânea.

4.4 Condições tributárias e seus reflexos na transformação digital e na eficiência produtiva do Polo Industrial de Manaus

A literatura analisada evidencia que a implementação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus está condicionada não apenas à disponibilidade de tecnologias, mas também à capacidade das empresas de realizar investimentos contínuos em automação, integração de sistemas, qualificação profissional e inovação. Nesse sentido, os incentivos fiscais da Zona Franca de Manaus possuem reflexos indiretos, porém relevantes, sobre os processos produtivos, pois contribuem para compensar custos logísticos e operacionais que poderiam reduzir os recursos destinados à modernização industrial. Sicsú *et al.* (2020) defendem que a preservação do modelo deve estar associada à sustentabilidade e ao desenvolvimento regional, enquanto Oliveira e De Jesus (2025) alertam que mudanças tributárias podem afetar a competitividade

das empresas instaladas na região. Gomes e Silva (2026) acrescentam que a adoção do IVA dual exige mecanismos de proteção ao diferencial competitivo da Zona Franca de Manaus. Assim, a principal crítica identificada é que a instabilidade tributária pode comprometer o planejamento de longo prazo das empresas, reduzindo sua capacidade de investir em tecnologias digitais e, consequentemente, limitando ganhos de produtividade, qualidade e eficiência operacional.

Além disso, os estudos indicam que os incentivos fiscais precisam ser convertidos em investimentos efetivos nos processos produtivos, e não apenas em mecanismos de redução de custos empresariais. Pinheiro, Ferreira e Lobato (2025) destacam a importância do sistema tributário para a continuidade das atividades industriais da Zona Franca de Manaus, enquanto Bastos *et al.* (2025) ressaltam que o compliance tributário fortalece a transparência, reduz riscos e melhora a gestão dos benefícios fiscais. Essa discussão permite criticar que a competitividade do PIM não será ampliada somente pela manutenção dos incentivos, mas pela sua articulação com políticas de inovação, infraestrutura tecnológica e capacitação profissional. Da Silva (2024) evidencia o potencial da Zona Franca de Manaus para o desenvolvimento de tecnologias emergentes, e De Freitas e Magno (2026) defendem que os incentivos devem ser acompanhados por investimentos em inovação e desenvolvimento regional. Portanto, para que a transformação digital gere efeitos concretos sobre os processos produtivos, os benefícios fiscais devem favorecer a aquisição de tecnologias, a integração das operações, a formação de trabalhadores e a ampliação da maturidade digital das empresas do PIM.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo analisar, por meio da literatura científica, os desafios e as perspectivas da Indústria 4.0 e da transformação digital para a melhoria da eficiência dos processos produtivos no Polo Industrial de Manaus. A análise permitiu responder à questão norteadora ao evidenciar que a integração de tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Big Data, computação em nuvem, sistemas ciberfísicos e ferramentas digitais de gestão contribui para ampliar o controle das operações, o monitoramento em tempo real, a identificação de gargalos e a redução de falhas e desperdícios. Dessa forma, a transformação digital favorece processos produtivos mais integrados, flexíveis e orientados por dados, fortalecendo a produtividade, a qualidade e a competitividade das empresas do PIM.

Entretanto, os resultados demonstraram que a consolidação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus ainda é condicionada por desafios relacionados aos elevados custos de implantação, à necessidade de modernização da infraestrutura tecnológica, às limitações logísticas regionais, à integração entre sistemas, à qualificação da mão de obra diminuindo barreiras culturais e organizacionais. Além disso, os diferentes níveis de maturidade digital observados entre as empresas indicam que os benefícios da transformação digital não são distribuídos de forma homogênea. Assim, a melhoria dos processos produtivos exige planejamento estratégico, investimentos contínuos em inovação, desenvolvimento de competências digitais e ações voltadas à integração entre tecnologia, gestão e operações industriais.

A pesquisa também evidenciou que as condições tributárias e institucionais influenciam indiretamente a eficiência produtiva, pois interferem na capacidade das empresas de manter investimentos em automação, digitalização e inovação. Os incentivos fiscais da Zona Franca de Manaus contribuem para compensar custos logísticos e operacionais característicos da região, liberando recursos que podem ser direcionados à modernização dos processos produtivos. Contudo, a análise crítica demonstra que a preservação desses incentivos, por si só, não assegura ganhos de eficiência. Para que produzam efeitos concretos, os benefícios fiscais precisam ser convertidos em investimentos em tecnologias digitais, infraestrutura, qualificação profissional, pesquisa e desenvolvimento e integração das operações.

14

A presente pesquisa não se exaure em si, cabendo recomendar aos gestores industriais das empresas do PIM que procedam estudos internos e iniciativas práticas sobre mapeamento de maturidade digital com base no modelo PIM antes de vultuosos investimentos, também sobre compliance e inovação demonstrando o uso dos incentivos fiscais com projetos de P&DI voltados à integração das cadeias de valor, e por fim, sobre a gestão orientada por dados reforçando a implementação de sistemas integrados para reduzir falhas operacionais e melhorar a tomada de decisões, inclusive estratégica.

Conclui-se, portanto, que as perspectivas da transformação digital no Polo Industrial de Manaus são favoráveis, desde que os desafios tecnológicos, culturais, organizacionais, logísticos e institucionais sejam enfrentados de forma articulada. A preservação da competitividade da Zona Franca deve estar associada a mecanismos de governança, compliance tributário e políticas que estimulem a aplicação estratégica dos incentivos na modernização produtiva.

Dessa forma, a Indústria 4.0 poderá contribuir de maneira mais efetiva para reduzir falhas, otimizar recursos, elevar a produtividade e consolidar processos produtivos mais eficientes, inovadores e sustentáveis no Polo Industrial de Manaus.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Sheyla Cardoso; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada; MACHADO, Nazaré Toyoda; PINCHEIRA, Jaime Guillermo Castillo. **Barreiras à implementação da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus**. *Revista de Gestão e Secretariado*, São José dos Pinhais, v. 15, n. 11, p. 1-23, 2024. DOI: <http://doi.org/10.7769/gesec.v15i11.4320>.

ARACATY, Michele Lins et al. Teorias do desenvolvimento regional: o modelo zona franca de Manaus e a 4ª revolução industrial. *Informe Gepec*, v. 25, n. 2, p. 107, 2021.

BASTOS, Ana Carolina Bezerra et al. Compliance Tributário: Entre Os Desafios E Estratégias De Sua Implementação Na Zona Franca De Manaus. *INTERFERENCE: A JOURNAL OF AUDIO CULTURE*, v. 11, n. 2, p. 2865-2885, 2025.

BRYNJOLFSSON, Erik; YANG, Shinkyu. Information technology and productivity: a review of the literature. *Advances in computers*, v. 43, p. 179-214, 1996.

CAMPOS, Livia Rezende Miranda et al. A revisão bibliográfica e a pesquisa bibliográfica numa abordagem qualitativa. *Cadernos da FUCAMP*, v. 22, n. 57, 2023.

CARDOSO, Josiane de Fátima Daniel; BRUM, Argemiro Luis. Indústria 4.0 e a Relação com a Transformação Digital: Uma Revisão Sistemática da Literatura 2019-2024. *Revista de Administração da UFSM*, v. 18, n. 4, p. e5-e5, 2025. 15

CAVALCANTE, Cayami Schultz Chiovitti; CORRÊA, Fabiano Rogerio. Elaboração de modelo de maturidade (Indústria 4.0) para fabricantes de componentes industrializados. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, v. 3, p. 1-13, 2021.

COSTA, Julianny Oliveira da; RODRIGUEZ, Carlos Manoel. Barreiras à robotização no Polo Industrial de Manaus: uma análise exploratória utilizando Metodologia DEMATEL. *GeSec: Revista de Gestão e Secretariado*, v. 16, n. 1, 2025.

DA SILVA, Marcus Vinicius Gonçalves. Capacidades da Zona Franca de Manaus no desenvolvimento de tecnologias emergentes no setor de defesa. *Revista da Escola Superior de Guerra*, v. 39, n. 87, p. 92-113, 2024.

DAMASCENO, Alexandre Holanda et al. Transformação digital no Polo Industrial de Manaus: Aumento da eficiência na produção de baterias de lítio através da Indústria 4.0. *ARACÊ*, v. 6, n. 4, p. 15458-15470, 2024.

DAVID, Marcus Vinicius. GESTÃO EMPRESARIAL NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0: ESTRATÉGIAS PARA COMPETITIVIDADE E SUSTENTABILIDADE. **ERRor**, v. 10, n. 5, p. e9408-e9408, 2025.

DE FREITAS, Altobeles Araújo; MAGNO, Romilson Abel. DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS DA ZONA FRANCA DE MANAUS: UMA ANÁLISE SOBRE OS INCENTIVOS FISCAIS E SEUS IMPACTOS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 12, n. 6, p. 1-16, 2026.

DE OLIVEIRA, Regiane Marques Junger. Transformação digital nas cadeias de suprimentos: benefícios, desafios e inovações tecnológicas. **ARACÊ**, v. 6, n. 3, p. 4583-4598, 2024.

DE SOUZA, Carolina Gonçalves; DOS SANTOS, Luciano Balbino. Um estudo do avanço da indústria 4.0 e os desafios logísticos do Polo Industrial de Manaus. **Revista Foco**, v. 15, n. 4, p. eo468-eo468, 2022.

DE SOUZA, João Paulo Santos; TERAZZI, Luis Fernando. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DA PRODUÇÃO: Estudo de Caso do Desenvolvimento de um Sistema Interno com Aplicação de Kanban em uma Indústria de Pulverizadores. **Revista Interface Tecnológica**, v. 22, n. 2, p. 789-800, 2025.

DO VALE, Rosangela Victor et al. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA ZONA FRANCA DE MANAUS: CAMINHOS E DESAFIOS ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E A SOCIEDADE 5.0. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 15327-15351, 2024.

DOS SANTOS, Rafael Alexandre Lima; DOS SANTOS, Richard Ferreira; DE OLIVEIRA MORAIS, Marcos. Desafios da indústria 4.0 em pequenas empresas prestadoras de serviços logísticos. **LUMEN ET VIRTUS**, v. 16, n. 51, p. e7690-e7690, 2025.

DUARTE, Clayton Aparecido et al. PERCURSO HISTÓRICO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: O ESTÁGIO DA INDÚSTRIA 4.0. **Prospectus (ISSN: 2674-8576)**, v. 7, n. 2, p. 2-26, 2025.

FERNANDES, Jaciara Mayara Batista; VIEIRA, Lidiane Torres; CASTELHANO, Marcos Vitor Costa. Revisão narrativa enquanto metodologia científica significativa: reflexões técnicas-formativas. **REDES-Revista Educacional da Sucesso**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2023.

FERREIRA, Joelson Miranda et al. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, PEOPLE ANALYTICS E ADMINISTRAÇÃO ESTRATÉGICA DE RECURSOS HUMANOS: INOVAÇÃO, TOMADA DE DECISÃO E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DE PESSOAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 12, n. 6, p. 1-17, 2026.

FERREIRA, Marcos Sidney Castro; CAMPOS, Paola Souto; LEITE, Jandecy Cabral. Aplicação de tecnologia da Indústria 4.0 na melhoria dos processos de injeção plástica em uma empresa no polo industrial de Manaus. **ARACÊ**, v. 7, n. 1, p. 1591-1608, 2025.

FIGUEIREDO, Leopoldo Augusto Melo Monteiro; OLIVEIRA, Diego Queiroz de; ALVES, Rosângela Lopez; SOUZA JUNIOR, Armando Araújo de. **Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Polo Industrial de Manaus a partir de programas prioritários**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 42., 2022, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), 2022.

FRANCO, Marcelo Horta Messias; DE ARAÚJO, Marcel. Territorialidades Amazônicas: caderno de pesquisas. **Territorialidades Amazônicas: caderno de pesquisas**, 2023.

GOMES, Lucas de Abreu; SILVA, Rosana Reis de Melo. A reforma tributária e a Zona Franca de Manaus: desafios e perspectivas para a preservação do diferencial competitivo face ao modelo de IVA dual. **Revista ft**, v. 30, n. 159, p. 01-19, 2026.

GOMES, Maria Terezinha Serafim. A indústria de transformação no Brasil: o debate da desindustrialização e os desafios da indústria 4.0. **Entre-Lugar**, v. 11, n. 22, p. 139-168, 2020.

GOUVEIA, Livia Elce Magalhães; DE BARROS, Luís Alberto Monteiro. Impactos de modernas tecnologias da informação na competitividade: estudo com micro e pequenas empresas de região em desenvolvimento. **UniLS Acadêmica**, n. 19, p. 306-325, 2025.

JÚNIOR, Manoel Carlos de Oliveira et al. Digitalização baseada na arquitetura RAMI e OEE: estudo de caso em empresa do subsetor termoplástico do polo industrial de Manaus. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 20, n. 59, p. 252-268, 2024.

JUNIOR, Pedro Luiz Batista Ferreira. **Transformação digital e a gestão da qualidade**. Editora Senac São Paulo, 2026.

KRUGER, Juliano Milton. **Metodologia da pesquisa em Administração: em linguagem descomplicada**. 1. ed. Curitiba, PR: Editora Bagai, 2023. E-book.

LEITE, Cristiane Mascarenhas; FIGUEIREDO, Paulo Soares; LOPES, Sérgio Paulo Maravilhas; PASSOS, Francisco Uchoa. **Conceituando e medindo a transformação digital: proposta de um modelo de mensuração**. *Cadernos EBAPE.BR*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, e2023-0081, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1679-395120230081>.

LIMA, Graziela de Souza; SANTIAGO, Sandro Breval; OLIVEIRA JUNIOR, Manuel Carlos de. **Análise da maturidade na Indústria 4.0: um estudo de caso no Polo Industrial de Manaus utilizando o sistema PIMM4.0**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO), 13., 2022, evento on-line. **Anais [...]**. Ponta Grossa: Associação Paranaense de Engenharia de Produção, 2022.

LOPES, Ítalo de Lira. **Os desafios da Indústria 4.0 na Zona Franca de Manaus**. 2022. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Estudos Sociais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

MACHADO, Nazaré Toyoda. **Modelo de medição da maturidade da logística 5.0 em empresas Polo Industrial de Manaus**. 2025. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025.

MARTINS, Dora; FRANQUEIRA, João; SILVA, Marlene. A Era da Indústria 5.0—uma simbiose entre a gestão de pessoas ea transformação digital. **Indústria**, p. 71-104, 2023.

MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. **Máquina, plataforma, multidão: aproveitando nosso futuro digital**. WW Norton & Company, 2017.

MONTEIRO, Isabela Zanotto et al. ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO DA EFICIÊNCIA PRODUTIVA NAS INDÚSTRIAS DE MONTAGEM DE ELETROELETRÔNICAS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS POR MEIO DO CÁLCULO DO OEE-CASO DE ESTUDO DE AUTOMAÇÃO. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, pág. 16461-16483, 2024.

MORAES, Miriam Maristela Reis. **Cadeia de suprimentos inteligente: estudo de caso em uma empresa do subsetor de concentrados para bebidas não alcoólicas do Polo Industrial de Manaus - PIM**. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.

OLIVEIRA, Jhonathan; DE JESUS, Samia. Reforma tributária e os impactos na Zona Franca de Manaus. **Research, Society and Development**, v. 14, n. 12, p. e147141250334-e147141250334, 2025.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu et al. Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. **Exacta**, v. 18, n. 2, p. 278-292, 2020.

PANTOJA, Dione dos Anjos; MAGALHAES, Keven Shelton Martins; DA SILVA, Luiz Fernando Lima. DESAFIOS DA LOGÍSTICA 4.0 NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 12, n. 6, p. 1-16, 2026.

PEIXOTO, André Luís Almeida; DA MATTA, Ludmila Gonçalves. Desafios da indústria 4.0 para a educação em um mundo pós-pandemia. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 9, n. 1, p. e648-e648, 2023.

PEREIRA, Evandro Segundo Soares; ORDONEZ, Robert Eduardo Cooper. Indústria 4.0 e a Transformação Digital para o Lean Manufacturing: um estudo de caso da aplicação da digitalização dos processos lean. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 12, p. e12892, 2024.

PINHEIRO, Junho Bacelar; FERREIRA, Gilmara Cleidy Viana; LOBATO, Bruno Monteiro. O SISTEMA TRIBUTÁRIO E A ZONA FRANCA DE MANAUS: UMA ANÁLISE SOBRE INCENTIVOS FISCAIS NA ZONA FRANCA DE MANAUS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 5, p. 4763-4778, 2025.

POMPEU, Adriano Marinheiro; DE CASTRO OLIVEIRA, Arthur Nunes. Conceitos da indústria 4.0 e seus principais desafios de implantação nas empresas contemporâneas. **Multitemas**, p. 5-28, 2021.

REY, K. M. M. **Zona Franca de Manaus: análise dos 50 anos de atuação estatal no âmbito da SUFRAMA em busca da promoção do desenvolvimento da Amazônia.** Dissertação (Mestrado em Governança e Desenvolvimento) - Escola Nacional de Administração Pública, Brasília (DF), 2019. 188 p.

RIBEIRO, Ryan da Silva; SANTIAGO, Sandro Breval. **Maturidade na indústria 4.0: estudo de caso sobre a área de cadeia de suprimentos em uma empresa do segmento eletroeletrônico da zona franca de Manaus.** In: XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, 2024. Anais [...]. Rio de Janeiro, Universidade Veiga de Almeida, 2024. ISSN: 2318-9258. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/43630>

RODRIGUES, Luciene Cavalcanti; DE QUEIROGA, Ana Paula Garrido; MILHOSSI, José Fernando. Indústria 4.0 e a transformação digital Industry 4.0 and digital transformation. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 14093-14101, 2022.

ROGERS, David L. **Transformação digital: repensando o seu negócio para a era digital.** Autêntica Business, 2017.

ROZENFELD, Henrique; AMARAL, Daniel Capaldo. Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos. **São Paulo: Saraiva**, 2006.

SALAZAR, Ana Beatriz Costa et al. **A importância do PIM para a preservação da floresta Amazônica em pé.** 2023.

SANTIAGO, Sandro et al. GESTÃO PROATIVA DE CUSTO INDUSTRIAIS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: ARQUITETURA, MODELAGEM PREDITIVA E ANÁLISE DE CENÁRIOS NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 6, pág. e768122-e768122, 2026.

19

SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: **Edipro**, 2016

SICSU, Benjamin et al. Reforma Tributária, Zona Franca de Manaus e sustentabilidade: é hora de evolução. **Manaus: FAS**, 2020.

SILVA, Alessandra Lara; PAIVA, Adriana Pontes. Metodologia da pesquisa científica no Brasil: natureza da pesquisa, métodos e processos da investigação. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e479111032264-e479111032264, 2022.

SOARES, Karen Kettelen Souza et al. APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E IOT NA MODERNIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO: UM ESTUDO NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 15373-15392, 2024.

SOUSA, F. J. D. M.; TORRES, L. P.; ARAÚJO, T. M. A. Modelos de Sistemas de Supervisão na Indústria 4.0. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 27-48, 2023.

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 (Interdisciplinary Studies Journal)**, v. 15, n. 4, 2022.

TAKAYAMA, Alessandro; PANHAN, Andre Marcelo. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para a indústria brasileira. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 5, p. 1797-1822, 2022.

TAVARES, Higley Barton Saunders Rocha. INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS EMERGENTES NA GESTÃO ESTRATÉGICA DA LOGÍSTICA E CADEIA DE SUPRIMENTOS. **Revista de Geopolítica**, v. 17, n. 5, p. e2414-e2414, 2026.

WAGIRE, Aniruddha et al. Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. **Production Planning and Control**, 2020.

ZENON, Ricardo de Freitas. A Importância da Zona Franca De Manaus no contexto socioeconômico. **Revista Foco**. [S. l.], v. 16, n. 9, p. e2901, 2023.