



A INDÚSTRIA 4.0 NO CONTEXTO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: AVANÇOS TECNOLÓGICOS E IMPACTOS SOCIAIS

Industry 4.0 In The Context Of The Industrial Revolutions: Technological Advances And Social Impacts

Raério de Almeida Canário^a
Eduardo de Sousa Barros^b

^a Universidade Potiguar - UnP

^b Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Resumo

O presente estudo tem como objetivo analisar as fases das Revoluções Industriais, destacando seus principais marcos históricos e tecnológicos, com ênfase na Indústria 4.0 e em seus impactos tecnológicos, econômicos e sociais. A pesquisa fundamenta-se em uma abordagem qualitativa, de caráter descritivo, desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos e documentos institucionais que abordam a evolução dos sistemas produtivos e a transformação tecnológica da Primeira Revolução Industrial até a chamada Indústria 4.0. Diferentemente de estudos que tratam essas transformações de forma fragmentada, o presente trabalho contribui ao oferecer uma análise integrada e comparativa da evolução industrial, articulando dimensões históricas, tecnológicas e sociais. A análise da literatura evidencia que cada Revolução Industrial promoveu profundas mudanças na organização do trabalho, nos processos produtivos e nas relações sociais, culminando na atual fase caracterizada pela integração entre sistemas físicos e digitais, automação inteligente, Internet das Coisas e Inteligência Artificial. Os resultados indicam que a Indústria 4.0 proporciona ganhos significativos de eficiência, flexibilidade e competitividade para as organizações, ao mesmo tempo em que impõe desafios relacionados à qualificação profissional, à substituição de mão de obra e à inclusão social. Conclui-se que a Indústria 4.0 representa uma continuidade do processo histórico de evolução industrial, exigindo estratégias integradas que conciliam inovação tecnológica, desenvolvimento humano e sustentabilidade, além de consolidar um referencial teórico unificado que pode subsidiar pesquisas futuras e análises aplicadas no campo industrial e organizacional.

Palavras-chave

Revoluções Industriais; Indústria 4.0; Automação; Transformação tecnológica; Sistemas produtivos.

Abstract

The present study aims to analyze the phases of the Industrial Revolutions, highlighting their main historical and technological milestones, with an emphasis on Industry 4.0 and its technological, economic, and social impacts. The research is based

on a qualitative, descriptive approach, developed through a bibliographic books, scientific articles, and institutional documents that address the evolution of production systems and technological transformation from the First Industrial Revolution to the so-called Industry 4.0. Unlike studies that address these transformations in a fragmented manner, this work contributes by offering an integrated and comparative analysis of industrial evolution, articulating historical, technological, and social dimensions. The literature analysis shows that each Industrial Revolution promoted profound changes in work organization, production processes, and social relations, culminating in the current phase characterized by the integration of physical and digital systems, intelligent automation, the Internet of Things, and Artificial Intelligence. The results indicate that Industry 4.0 provides significant gains in efficiency, flexibility, and competitiveness for organizations, while simultaneously posing challenges related to professional qualification, workforce replacement, and social inclusion. It is concluded that Industry 4.0 represents a continuation of the historical process of industrial evolution, requiring integrated strategies that reconcile technological innovation, human development, and sustainability, as well as consolidating a unified theoretical framework that can support future research and applied analyses in the industrial and organizational fields.

Keywords

Industrial Revolutions; Industry 4.0; automation; technological transformation; production systems.



1 Introdução

O presente estudo tem como objetivo analisar as fases das Revoluções Industriais, destacando a relevância histórica e tecnológica de cada etapa e culminando na discussão acerca da Indústria 4.0 e de suas principais características. A compreensão dessas transformações é fundamental para interpretar a evolução dos sistemas produtivos e os impactos decorrentes da crescente integração entre tecnologias digitais, automação e inteligência artificial no cenário industrial contemporâneo.

O processo das Revoluções Industriais desenvolveu-se ao longo de diferentes períodos históricos, sendo marcado por profundas transformações nos modos de produção e na organização do trabalho. Segundo Bitkom *et al.* (2016), a Primeira Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII, caracterizou-se pela introdução das máquinas no ambiente fabril e pela substituição progressiva do trabalho manual pela força motriz da máquina a vapor. Esse período representou um marco histórico, econômico e social, sobretudo em países europeus como a Inglaterra, onde surgiram as primeiras fábricas e métodos produtivos mecanizados (KAGERMANN *et al.*, 2013; HERMANN *et al.*, 2015; SCHWAB, 2016).

Posteriormente, no século XX, a Segunda Revolução Industrial consolidou a produção em massa, fundamentada em modelos organizacionais como o taylorismo e o fordismo, além da incorporação da eletricidade como principal fonte energética nas indústrias. Destaca-se, nesse período, a implementação da organização científica do trabalho, voltada à padronização das tarefas, à racionalização dos processos e à maximização da eficiência produtiva (TAYLOR, 1911). A partir de 1870, tais transformações intensificaram a expansão fabril e redefiniram os padrões produtivos tradicionais.

A Terceira Revolução Industrial, também denominada Revolução Digital, teve início na década de 1970 e foi impulsionada pelo avanço da computação, da robótica e da automação industrial. Conforme Lasi *et al.* (2014), esse período possibilitou a integração de processos produtivos e a ampliação das redes globais de informação, promovendo mudanças estruturais nas empresas e na sociedade. O uso de computadores, sistemas automatizados e tecnologias de informação consolidou a automação como eixo central dos sistemas produtivos, preparando o terreno para transformações ainda mais profundas no ambiente industrial (KAGERMANN *et al.*, 2013; HERMANN *et al.*, 2015; SCHWAB, 2016).

A partir dessa evolução histórica, emerge a Indústria 4.0, que surgiu oficialmente em 2011, durante a Feira de Hannover, como uma estratégia do governo alemão em parceria com o setor industrial para impulsionar a inovação e a digitalização avançada (SILVEIRA, 2017). Segundo Schwab (2016), essa nova etapa representa uma transformação significativa na forma como as pessoas trabalham e se relacionam, decorrente da integração entre sistemas físicos e digitais, destacando-se o uso da Inteligência Artificial, da automação inteligente e de tecnologias autônomas capazes de otimizar processos produtivos e elevar a eficiência organizacional.

Venturelli (2017) ressalta que a conectividade das fábricas constitui uma das principais características da Quarta Revolução Industrial, viabilizada pela integração de sistemas inteligentes, sensores e redes interligadas, fortemente associadas à Internet das Coisas (IoT). Essas tecnologias possibilitam ambientes produtivos digitalizados, capazes de gerar dados em tempo real, otimizar fluxos operacionais e fortalecer a relação entre indústria, mercado e consumo, definindo modelos de negócios e estratégias de comercialização.

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender os impactos positivos e negativos da Indústria 4.0, especialmente no que se refere às transformações nas relações de trabalho. A intensificação da automação e da digitalização amplia a demanda por mão de obra mais qualificada e especializada, ao mesmo tempo em que impõe desafios relacionados à substituição de trabalhadores e à inclusão social (BRETTEL *et al.*, 2014; IBA *et al.*, 2017). Assim, o presente estudo justifica-se socialmente ao analisar como essas mudanças influenciam a qualificação profissional e o desenvolvimento de uma indústria mais sustentável.

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho justifica-se pela necessidade de aprofundar e sistematizar os estudos sobre as Revoluções Industriais, com ênfase na Indústria 4.0. Diferentemente de abordagens fragmentadas, a pesquisa propõe uma análise integrada e comparativa da evolução industrial, articulando dimensões históricas, tecnológicas e sociais,

contribuindo para a consolidação de um referencial teórico unificado que possa subsidiar futuras investigações na área.

Diante desse contexto, emerge o seguinte problema de pesquisa: quais são os principais impactos tecnológicos, econômicos e sociais da Indústria 4.0 no contexto da evolução histórica das Revoluções Industriais? A partir desse questionamento, o estudo busca compreender de que maneira a integração entre tecnologias digitais, automação e inteligência artificial tem transformado os sistemas produtivos e as relações de trabalho na indústria contemporânea.

2 Referencial teórico

2.1 A Formação da Indústria Moderna: Raízes e Transformações Iniciais

A indústria moderna teve seu marco decisivo com o advento da Primeira Revolução Industrial, ocorrida por volta de 1750, na Inglaterra, período em que profundas inovações tecnológicas e produtivas transformaram o sistema manufatureiro e consolidaram o ambiente fabril. Como destacam Amarante *et al.* (2019), embora suas raízes remontam às primeiras práticas de tecelagem de lã, foi com a expansão do algodão que o processo de mecanização ganhou força e se tornou estruturado.

Antes desse avanço, a produção, conforme apontam Cavalcante *et al.* (2011), era essencialmente manual, realizada em pequena escala e incapaz de atender às crescentes demandas de uma população em expansão, em um contexto no qual o capitalismo buscava ampliar lucros e acelerar a produção.

As inovações da época, como observa Smith (1996), impactaram profundamente os setores produtivo e de transportes, impulsionadas pelo uso do carvão como fonte energética, elemento que, segundo Hobsbawm (2000), estimulou um rápido desenvolvimento econômico e social. A invenção da máquina a vapor, destacada por Dathein (2003), consolidou a transição do trabalho manual para a produção mecanizada, revolucionando tanto o ambiente fabril quanto o transporte ferroviário, ampliando conexões e dinamizando o comércio.

Assim, como observa Venturelli (2017), a Primeira Revolução Industrial inaugurou uma nova configuração histórica marcada pela mecanização, pela expansão das fábricas e pela transição do capitalismo comercial para o industrial, processo que, segundo Cavalcante (2011), redefiniu o modo de vida e as relações de trabalho, cujos reflexos ainda se fazem presentes na sociedade contemporânea.

2.2 A Indústria

O advento da indústria é notavelmente associado ao surgimento da Primeira Revolução Industrial, que ocorreu por volta de 1750, na Inglaterra, e trouxe diversas inovações e reorganizações no ambiente fabril e por sua vez a toda a indústria. De acordo com Amarante *et al.* (2019), as raízes dessa transformação remontam às primeiras tentativas na tecelagem de lã, ainda no aspecto da manufatura, mas foi somente com a ascensão do algodão que se iniciou o processo de mecanização de forma mais concreta. Esse momento representou um marco significativo para o estabelecimento do sistema fabril e impulsionou o subsequente avanço da indústria.

Para Cavalcante *et al.* (2011) antes mesmo do surgimento das fábricas, a produção era predominantemente manual (sistema manufatureiro), limitando-se a produção em pequena escala, tendo em vista que a produção em maior escala se tornava impraticável, porém, cada vez mais necessária diante do rápido crescimento populacional da época. Nesse contexto, atender às demandas exigia uma eficácia maior na fabricação de bens e serviços. Adicionalmente, o Capitalismo fundamentava-se na busca por lucros maximizados e na produção ágil em larga escala e em como alcançar esses objetivos, conforme destacado por Cavalcante *et al.* (2011).

Segundo Smith (1996), as grandes inovações que resultaram em profundas transformações na 1ª Revolução Industrial contribuíram para os setores produtivos e de transportes. Logo, não apenas fomentando a efetividade da manufatura, no qual essas descobertas floresceram, todavia trouxeram mudanças estruturais, envolvendo a relação de interação e mobilização das pessoas em torno do globo. Diante disso, com a chegada do carvão como fonte indispensável de energia, culminou numa conjuntura de upgrade rápido, assim, estimulando uma significativa ascensão Hobsbawm (2000).

É importante atestar que o uso do carvão permitiu um aperfeiçoamento energético das máquinas industriais, impulsionou as fábricas e motores, bem como para fornecer uma carga que conduziria à produção em larga escala.

A invenção da máquina a vapor foi de enorme importância para que o processo de mudança tenha ocorrido em detrimento às mudanças sociais que ali necessitavam, para que o sistema fabril começasse a se sustentar. Isto fez com que muitos procedimentos antes realizados de forma manual, fossem automatizados por essa engenhoca, tendo um aquecimento da confecção industrial, devido a capacidade de energia notável para a produção, destacado por Dathein (2003).

Logo para Hobsbawm (1970), também incentivando a alteração da manufatura artesanal para a fabricação fabril em larga escala, onde o centro pulsante das fábricas é a máquina a vapor. Além de ter revolucionado o setor de transportes, tendo em vista, as ferrovias que eram alimentadas por máquinas a vapor, tal qual, fazendo interligações de longas distâncias jamais vistas, impulsionando o comércio, ligando regiões e transportando passageiros aos seus destinos, encurtando os trajetos.

Para Venturelli (2017), a importância dessas invenções da Indústria 1.0 (1ª revolução industrial) que ocorrem por meados do século XVIII, trouxeram a utilização do carvão, como sendo o principal “combustível” para o uso motor de energia para oficinas e engenhos, aliado ao avanço da criação da máquina a vapor e à locomobilidade, em que o avanço tecnológico foi a maior marca desse Revolução, formando na história da humanidade uma nova fase de configurações inimagináveis.

Cavalcante (2011) destaca em seus trabalhos a importância da manifestação do capitalismo na 1ª Revolução Industrial, onde houve, brevemente, uma transição do capitalismo comercial para o industrial. Essa transição resultou em significativas transformações no modo de vida das pessoas e em suas relações de trabalho. Atualmente, ainda observamos os desdobramentos dessas mudanças, que continuam a se modificar ao longo do tempo.

2.3 As Revoluções da Indústria

Boettcher (2015) brevemente discute a relação entre o surgimento de novas tecnologias e o vislumbre essencial que derivou da Revolução Industrial anterior. Essa interligação foi fortalecida pelo desenvolvimento contínuo e modernização dessas ferramentas. Como resultado, observou-se significativas rupturas devido ao novo modelo em desenvolvimento, ao mesmo tempo em que uma nova corrente de iniciativas tecnológicas estava em curso.

Segundo Amarante *et al.* (2019), já no século XIX, inicia a 2ª Revolução Industrial, que haveria de impactar setores petroquímicos, de aço, além de principalmente no setor elétrico, e isso não é em vão, justamente por conta das grandes descobertas que obtiveram nesta época, como também, para novas fontes energéticas, por conseguinte, o urânio (para uso na usina nuclear), a água (para uso nas usinas hidrelétricas) e o petróleo (para o impulsor a combustão).

Em 1914, a 2ª Revolução Industrial deu início a uma Revolução na indústria automobilística, chamada popularmente de Fordismo, criado evidentemente por Henry Ford, o qual ele desenvolveu esse conjunto de produção em massa-para permitir uma fabricação eficaz e a produção em grande escala de seus produtos, através das inovações estratégicas, tal como, a “Produção *Just In Time*” por Wildemann *et al.* (1987), em que se produzia conforme a demanda do mercado, diminuindo os estoques, tendo como resultado o consumo elevado para vender.

Para Silva e Gasparin (2013), a Ford incorporou diversas máquinas e aparelhos para a automatização de suas fábricas, com o objetivo de acelerar as tarefas de confecção, tendo a empresa criado esse método de “semi-automatização”. Lembrando que a Ford, em 1914, já tinha introduzido um sistema de montagem totalmente mecanizada, que foi a primeira a ser introduzida.

Segundo Boettcher (2015) com o avanço de todos esses sistemas e mecanismos industriais, dentro do contexto da Indústria 2.0, ocorreu uma qualificação eficiente dos processos acerca da contabilidade que consideraram desde alcançar fontes primárias, assim como, até a venda ao consumidor, refletindo num lucro exponencialmente maior. Então, algo bastante positivo de se ressaltar, era o controle orçamentário maior, em relação às despesas, tendo como consequência, cálculos imprescindíveis das considerações das margens de ganho.

Ainda segundo Boettcher (2015) prontamente, houve uma aceleração na economia mundial, obviamente pelo fato da grande industrialização ocorrida, onde muitos países se destacaram, alguns sendo o “berço do capitalismo”, a qual tinha enorme responsabilidade sobre o crescimento, sendo países como Estados Unidos, Alemanha, Japão e França se tornando líderes em suas posições no ramo de tecnologia no contexto global, além do mais, sendo nações economicamente desenvolvidas.

Novamente, surge uma nova Revolução Manufatureira, cujo comumente usa o nome de “Revolução Informacional”, onde veio em meados do séc. XX tendo sido desfrutado pelos avanços tecnológicos do séc. XX e da revolução passada, o qual a modernização da indústria, desde seus equipamentos e máquinas, como a estrutura num todo ter sofrido um grande upgrade, em qual a eletrônica realizasse essa atualização industrial.

Algo de se frisar, resumindo Medeiros e Rocha (2004) é que a Indústria 3.0 ajudou positivamente na progressão de setores da agricultura e pecuária, permitindo um processo de aumento no número de ofertas disponibilizadas de emprego, assim sendo, abrangendo o mundo numa aceleração vasto economicamente.

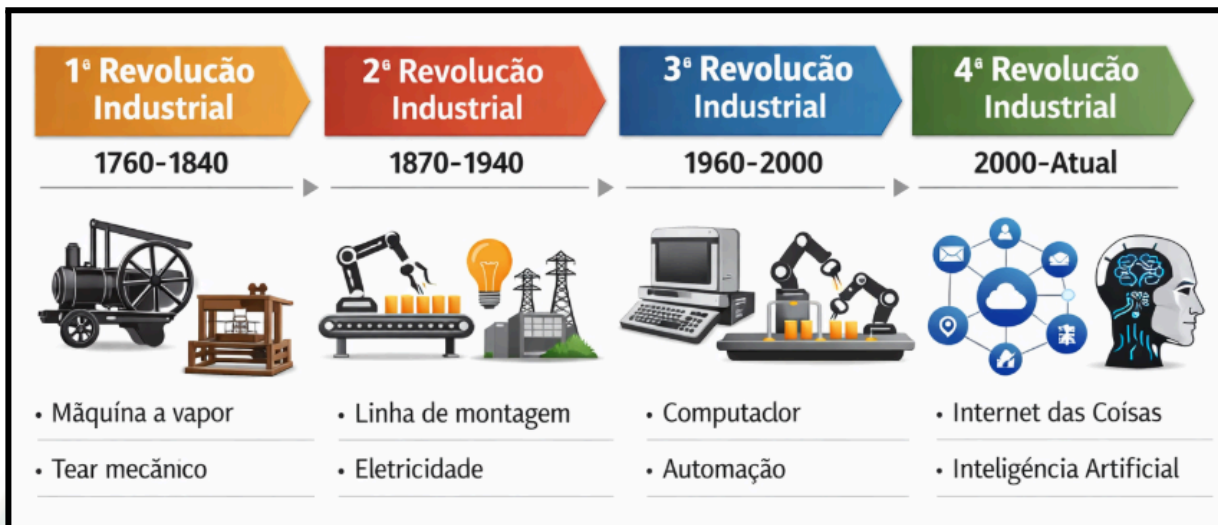
Segundo Amarante *et al.* (2019) conclui que, aumentando as enormes descobertas que promoveram o avanço da Revolução no mundo, sendo nas áreas de tecnologia e ciência, nos de 1950 até os dias de hoje, sendo assim, o surgimento das computação com a invenção dos circuitos integrados, que fez com que houvesse uma popularização dos computadores, da mesma maneira, a automação nas fábricas, diminuindo os processos de fabricação, além de reduzir o custo nas oficinas, e o principal com a eletrônica, fez com que surgisse todos esses aparelhos tecnológicos, melhorando os meios em que as indústrias produzem, e por último o surgimento e desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética.

Para Boettcher (2015), a 3ª Revolução Industrial abrangem campos que são marcados a partir dos seus avanços, resultando no surgimento do avanço do uso da informática, por meio da computação, bem como, a robótica (que já era introduzida nas fábricas), como já falada a automação sido introduzida nas oficinas, os setores de telecomunicações, com o aumento das informações sendo distribuídas pelas redes de internet e canais de acesso em eletrônicos, como a TV, o setor dos transportes, cujo os locais foram amplamente conectados por grandes meios, como o avião, e outras evoluções nos ramos ferroviários e marítimos, e concluindo, em setores da biotecnologia, química fina, além da nanotecnologia, todas explorando fenômenos em escalas pequenas.

Ainda para Silva *et al.* (2002) a Indústria 3.0 caracteriza-se com o uso de: diversas fontes de energia; o maior número de pessoas utilizando recursos computacionais; a consciência do cuidado com o meio ambiente sendo reforçado; uma ascendente atenuação bastante elevada do desemprego, cuja a automatização substituiu a mão de obra por aparelhos atuais; as garantias trabalhistas sendo expandida entre as nações; globalização; o aparecimento de grandes potências no cenário da 3ª Revolução Industrial, como por exemplo: os EUA; URSS e países europeus, e logo a uniformização de produtos digitais para venda.

A chamada terceira Revolução industrial é a revolução da automação, que para Santos *et al.* (2018), é a revolução que alia energia nuclear e os avanços e integração de alguns poucos sistemas como meio de início de interligação entre os setores e de produção em massa.

Figura 1: Linha do tempo das revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018)

A figura 1 ilustra, de forma cronológica, as quatro Revoluções Industriais e seus principais marcos tecnológicos. A Primeira Revolução Industrial é caracterizada pela mecanização da produção por meio da máquina a vapor, substituindo o trabalho artesanal. A Segunda Revolução Industrial destaca a eletricidade e a produção em massa, consolidando a linha de montagem e a padronização dos processos.

A Terceira Revolução Industrial introduz a automação e a informática, integrando computadores aos sistemas produtivos e ampliando a eficiência industrial. Por fim, a Quarta Revolução Industrial evidencia a digitalização avançada, com a integração entre sistemas físicos e digitais, destacando tecnologias como Internet das Coisas e Inteligência Artificial, que transformam os modelos produtivos e as relações de trabalho.

2.4 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é a atual inovação do momento, à vista disso, ela tem impactado nas relações de trabalho, em que as modificações estão ocorrendo dentro de cargos de ofícios, para substituição por máquinas e “robôs”, adiante ao modelo em que as empresas/indústrias fazem mecanismo mais complexos nas contratações, sendo exigido atribuições altamente tecnológicas para seus exercícios.

Na visão de Saltoratto (2018), foi em 2011 que se deu o início ao tema da 4ª Revolução Industrial, o qual tem prendido a atenção considerável de líderes governamentais, grandes empresários, instituições acadêmicas e pesquisadores. Logo, por consequência se deu a várias possibilidades e peculiaridades no campo científico e de pesquisa, sendo assim, desvendando novos caminhos para estas áreas, sendo abordado de forma interdisciplinar por vários âmbitos da ciência, como engenharia, administração e computação.

Para Kagermann (2013) inicialmente a terminologia “Indústria 4.0” surge na Alemanha em 2011 na chamada “Feira de Hannover” e surge em princípio, segundo Zucchi e Sakurai (2018) como forma de uma nova abordagem visando o fortalecimento da indústria de manufatura alemã, sendo que o governo alemão havia feito projeto estratégico com alta capacidade tecnológica, para impulsionar a modernização das indústrias, estabelecendo a Alemanha como líder e fornecedor desses recursos inovadores.

Para Schwab (2016), iniciamos uma nova maneira de trabalhar em que nos relacionarmos com o outro a partir do atual modelo fabril e, por conseguinte, chegamos ao que se chama “Indústria 4.0”, onde é a revolução atual em que estamos vivenciando nos dias atuais, baseada nas trocas de relações com o ser humano, as máquinas, sendo hoje a principal referência, a Inteligência Artificial (IA), cuja ferramenta utilizada em diversos setores, seja para

otimizar processos no trabalho, ou de aumentar a eficiência e o desenvolvimento de recursos modernos.

A Quarta Revolução Industrial é marcada pela extensa alternância que dá estímulo ao crescimento mundial, por meio de vários eventos, palestras e estudos em prol da indústria 4.0 para as oficinas. São fortes as alterações na estruturação do modelo em que passamos a viver com essas modificações ocorridas dessa nova Revolução Digital, abrindo caminhos para outras áreas e dificultando os processos de se profissionalizar, conseqüentemente com fortes repercussões em nossa sociedade.

Conforme Schwab (2016), O mundo corporativo sofrerá pelo menos quatro conseqüências devido às novas transformações: a alta exigência dos consumidores, para suprir as perspectivas futuras, a utilização dos dados com o aperfeiçoamento das mercadorias, a união de indústrias ou empresas para cooperação mútua, sendo essa combinação de grande medida, aliada a transfiguração dos padrões operacionais e computacionais, trazendo expectativas na administração feita pela gestão em suas respectivas manufaturas.

Ainda para Zuchi e Sakurai (2018), o atual modelo industrial caracteriza-se pelo aperfeiçoamento computacional e pela automação dos ambientes produtivos, anteriormente realizados de forma predominantemente manual. Essa transformação insere-se no contexto da Revolução Informacional e envolve a incorporação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), a manufatura aditiva, o Big Data e os sistemas de identificação por radiofrequência (RFID), promovendo uma interação cada vez mais intensa entre o ser humano, às máquinas e os sistemas tecnológicos.

Nesse sentido, Collabo (2016) explica que, no contexto da Indústria 4.0, os sistemas ciberfísicos possibilitam a comunicação contínua entre máquinas, peças, ferramentas e seres humanos, permitindo a troca de informações em tempo real. A partir dessa interação, as próprias máquinas tornam-se capazes de tomar decisões de forma autônoma, visando à melhoria dos processos produtivos, à redução de custos e à otimização da eficiência operacional, sem a necessidade de programação prévia. Além disso, os produtos passam a carregar informações que orientam os equipamentos sobre as etapas necessárias para sua fabricação, garantindo maior flexibilidade e inteligência ao processo produtivo.

A análise proposta por Collabo (2016) também evidencia que a intensificação da mecanização e da digitalização favorece a substituição progressiva da mão de obra humana por sistemas automatizados, o que representa vantagens competitivas para as empresas, sobretudo pela redução de custos. Entretanto, esse avanço tecnológico pode gerar impactos sociais significativos, como o aumento do desemprego entre trabalhadores que não possuem qualificação compatível com as novas exigências da Indústria 4.0, reforçando a necessidade de investimentos em capacitação e atualização profissional contínua.

Esse argumento por Brettel (2014), destaca um dilema significativo na automação e digitalização da indústria. Portanto, ao abranger os Sistemas Físicos-Cibernéticos (CPS), há de aumentar a eficiência com uma produção autônoma e mecanizada, reduzindo seus custos, e logo a qualidade do produto sendo otimizada. Isso pode ser uma vantagem competitiva para as empresas. No entanto, a automação também pode resultar na substituição de trabalhadores, especialmente em tarefas rotineiras e repetitivas.

Por um lado, já mostrado por Iba (2017) risco de desemprego mencionado destaca a importância da especialização e atualização contínua das habilidades dos trabalhadores. À medida que a tecnologia avança, os trabalhadores precisam se adaptar às novas demandas do mercado de trabalho. A robotização e a computação podem criar novas oportunidades futuras, mas muitas vezes essas oportunidades exigem prontamente as habilidades específicas e conhecimentos tecnológicos que as indústrias ou empresas requisitem.

Essa visão ressalta a necessidade de políticas e estratégias educacionais e de treinamento que preparem os trabalhadores para os desafios da automação e promovam a adaptação contínua às mudanças tecnológicas. Além disso, levanta questões éticas e sociais relacionadas à distribuição de benefícios e custos da automação, destacando a importância de considerar o impacto humano na adoção de tecnologias avançadas, evidenciado por IBA (2017).

Neste sentido, Collabo (2012) traz a afirmação de que a Indústria 4.0 não é apenas uma “atualização”, contudo uma Revolução tecnológica, onde a IoT promoveria a conexão entre

objetos considerados digitais ou não, em uma rede global de computadores, prontamente conectando todas as pessoas num sistema mais amplo, agindo na forma em como as pessoas vivem, diminuindo o tempo de trabalho para se produzir, e contribuindo para acelerar as práticas do dia a dia.

Conforme enfatizado por Caloi (2018), a Indústria 4.0, apelidada de Revolução Tecnológica, tem demandado uma vasta era em que os indivíduos no modo de vida levam cotidianamente. Isso tem implicado numa grande alteração efetiva, onde as oficinas têm uma realidade nova, com a colaboração da Inteligência Artificial no quesito de trazer uma maior produtividade e eficiência das operações da empresa, aliado a todo processo técnico de introduzir os “robôs autônomos” para produção industrial, tal qual, a IoT (Internet das Coisas) ligando todos os eletrônicos e sistemas em uma rede de comunicação mais rápida e acessível a todos, internacionalizando as informações transparentes aos funcionários e gerentes.

Desta forma, no ponto de vista Bahrin *et al.* (2016), as empresas e fábricas terão que se adaptar às novas mudanças, e conquistar os requisitos exigidos, para que consigam suprir as demandas e necessidade dos consumidores, cooperando ao alcance de novos mercados, e competindo na liderança das novas inovações computacionais, tendo como alvo a Indústria 4.0 na junção de todos os mecanismos, em que detrimento disso, resultará numa mudança que marcará mais uma vez o mundo nesta época em que vivemos.

Barbosa Júnior e Guimarães Júnior (2022) destacam que, no contexto da Indústria 4.0, a logística assume um papel estratégico ao incorporar tecnologias digitais avançadas, especialmente a tecnologia 5G, que potencializa a conectividade, a automação e a integração entre os diferentes elos da cadeia logística.

Ainda segundo Barbosa Júnior e Guimarães Júnior (2022), a aplicação do 5G no setor logístico amplia a capacidade de comunicação em tempo real, favorecendo a identificação automática, o rastreamento preciso e a troca contínua de dados entre sistemas, máquinas e dispositivos. Esse cenário contribui para a otimização dos processos de suprimento, produção, distribuição e logística reversa, agregando valor a produtos e serviços, além de promover maior eficiência operacional, redução de falhas e melhor uso dos recursos, alinhando a logística às exigências de um ambiente industrial cada vez mais digitalizado e integrado.

E concluindo, as estratégias e respostas das companhias a este sistema novo vigente, converterá num globo totalmente autônomo e informatizado, impactado pela IoT e IA, além dos componentes de computação em nuvem, robôs, Big Data, segurança da informação e etc, converterá a administração e a fabricação em novos meios de impacto, logo, as organizações buscarão se notabilizar nessa nova era digital.

3 Materiais e métodos

Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, fundamentada exclusivamente na consulta e no exame de materiais já publicados, como livros, artigos científicos, relatórios técnicos, dissertações e documentos institucionais relacionados ao tema das Revoluções Industriais e da Indústria 4.0. Segundo Marconi e Lakatos (2017), a pesquisa bibliográfica constitui um procedimento essencial para o levantamento do conhecimento já produzido, permitindo a fundamentação teórica e a contextualização do objeto de estudo.

Neste sentido, o presente estudo, se caracteriza como um estudo de natureza qualitativa, com abordagem descritiva, em cujo objetivo consiste em analisar e sistematizar as fases das Revoluções Industriais, com ênfase na Indústria 4.0 e em seus impactos tecnológicos, econômicos e sociais. A abordagem qualitativa mostra-se adequada por permitir a compreensão interpretativa dos fenômenos históricos e tecnológicos, considerando seus contextos e implicações para os sistemas produtivos e para as relações de trabalho. Conforme Marconi e Lakatos (2017), a pesquisa qualitativa preocupa-se com a compreensão e a interpretação dos fenômenos sociais, enfatizando a análise dos significados, das motivações e das relações presentes na realidade estudada.

O levantamento das fontes foi realizado em diversas bases de dados acadêmicas e repositórios científicos, incluindo Google Scholar, SciELO, bibliotecas digitais e periódicos especializados das áreas de engenharia, administração e ciências sociais aplicadas, além de

livros e documentos institucionais. A seleção das obras considerou critérios de relevância temática, credibilidade científica e aderência ao objeto de estudo, priorizando autores clássicos e contemporâneos que abordam a evolução industrial e a transformação tecnológica, tais como os elencados no quadro 1.

Quadro 1: Autores refinados no estudo e sua importância

AUTOR	IMPORTÂNCIA PARA O ESTUDO
Smith (1996)	Contribui para a compreensão dos impactos econômicos iniciais da industrialização e do desenvolvimento do capitalismo industrial.
Hobsbawm (1970; 2000)	Fundamenta a análise histórica e social das primeiras Revoluções Industriais, destacando suas transformações econômicas e sociais.
Taylor (1911)	Referência clássica da Segunda Revolução Industrial, ao tratar da organização científica do trabalho e da racionalização dos processos produtivos.
Kagermann <i>et al.</i> (2013)	Apresentam a origem conceitual e estratégica da Indústria 4.0, destacando a integração entre sistemas físicos e digitais no contexto industrial.
Hermann <i>et al.</i> (2015)	Sistemizam os princípios estruturantes da Indústria 4.0, como interoperabilidade, descentralização e automação inteligente.
Schwab (2016)	Autor central para a compreensão da Quarta Revolução Industrial e de seus impactos tecnológicos, econômicos e sociais.
Venturelli (2017)	Destaca a conectividade industrial, a Internet das Coisas e as transformações nos modelos de negócios e no consumo.
Zuchi e Sakurai (2018)	Contribuem para a compreensão da automação computacional e da Revolução Informacional.
Collabo (2016)	Aprofunda o funcionamento dos sistemas ciberfísicos e a comunicação entre máquinas, produtos e seres humanos.
Brettel <i>et al.</i> (2014)	Discutem os ganhos de eficiência e os desafios sociais decorrentes da automação e da digitalização industrial.

Fonte: Autoria própria (2026)

Os autores mais significativos deste estudo foram selecionados em função de sua relevância teórica e de sua contribuição direta para a compreensão das Revoluções Industriais e, especialmente, da Indústria 4.0. Destacam-se Schwab (2016), Kagermann *et al.* (2013) e Hermann (2015), por sistematizar os conceitos, princípios e impactos associados à Quarta Revolução Industrial, sendo amplamente reconhecidos como referências centrais na literatura científica contemporânea.

Zuchi e Sakurai (2018), Venturelli (2017) e Collabo (2016) também assumem papel relevante ao aprofundarem a discussão sobre automação, sistemas ciberfísicos, Internet das

Coisas e conectividade industrial, além de abordarem as implicações organizacionais e sociais decorrentes da digitalização dos processos produtivos.

Para a contextualização histórica das Revoluções Industriais anteriores, autores clássicos como Taylor (1911), Hobsbawm (1970; 2000) e Smith (1996) foram fundamentais, pois forneceram a base teórica consolidada sobre a evolução dos sistemas produtivos e das relações de trabalho, permitindo compreender a Indústria 4.0 como resultado de um processo histórico contínuo de transformações tecnológicas e sociais.

No que se refere aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva, pois busca apresentar e discutir as principais características, conceitos e impactos associados às Revoluções Industriais, sem a intenção de testar hipóteses ou intervir na realidade analisada. De acordo com Vergara (2016), pesquisas descritivas têm como finalidade descrever fenômenos e estabelecer uma compreensão sistematizada sobre determinado objeto de estudo.

A análise do material bibliográfico ocorreu por meio de leitura analítica e comparativa, permitindo a organização lógica dos conceitos, a contextualização histórica das diferentes revoluções industriais e a identificação das principais transformações tecnológicas e sociais associadas à Indústria 4.0. Esse procedimento possibilitou a construção de uma abordagem teórica integrada, respeitando os objetivos propostos pela pesquisa.

Dessa forma, a metodologia adotada assegura coerência entre os objetivos, os procedimentos utilizados e os resultados esperados, conferindo rigor científico ao estudo e contribuindo para a compreensão dos impactos da Indústria 4.0 no contexto da evolução histórica das Revoluções Industriais.

4 Resultados e Discussão

A análise da literatura evidencia que as Revoluções Industriais representam processos históricos contínuos de transformação tecnológica, econômica e social, sendo cada etapa marcada pela introdução de inovações que redefiniram os modelos produtivos e as relações de trabalho. Os resultados obtidos demonstram que a Indústria 4.0 se diferencia das revoluções anteriores principalmente pela integração entre sistemas digitais, físicos e biológicos, promovendo um ambiente industrial altamente conectado, inteligente e automatizado (KAGERMANN *et al.*, 2013; SCHWAB, 2016).

Os estudos analisados indicam que a adoção de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, Big Data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos possibilita ganhos significativos de eficiência operacional, redução de custos e maior flexibilidade produtiva. Conforme Tessarini Junior e Saltorato (2018), essas inovações impactam diretamente a organização do trabalho, exigindo novas competências profissionais e promovendo a reconfiguração dos processos internos das empresas.

Entretanto, a literatura também aponta desafios relevantes associados à Indústria 4.0, especialmente no que se refere à qualificação da mão de obra e às possíveis consequências sociais da automação intensiva. Autores como Brettel *et al.* (2014) e Iba *et al.* (2017) destacam que, embora a digitalização amplie a competitividade das organizações, ela também pode intensificar o desemprego estrutural caso não haja políticas eficazes de capacitação e requalificação profissional.

Outro aspecto recorrente nos estudos analisados refere-se à desigualdade na adoção das tecnologias da Indústria 4.0 entre diferentes países e setores produtivos. Schmidt *et al.* (2015) ressaltam que nações com maior investimento em inovação e infraestrutura tecnológica apresentam avanços mais consistentes, enquanto países em desenvolvimento enfrentam limitações estruturais, financeiras e educacionais para acompanhar essa transformação.

Assim, os resultados da pesquisa confirmam que a Indústria 4.0 representa uma evolução significativa dos sistemas industriais, mas sua implementação plena depende de estratégias integradas que envolvam tecnologia, gestão, educação e políticas públicas. A discussão evidencia que os benefícios dessa revolução somente serão amplamente alcançados quando houver equilíbrio entre inovação tecnológica e desenvolvimento humano, reforçando a necessidade de uma abordagem sustentável e inclusiva para o futuro da indústria.

5 Conclusão

De forma geral, os achados desta pesquisa evidenciam que a Indústria 4.0 se apresenta de maneira amplamente coerente com a literatura consultada, especialmente no que diz respeito às inovações tecnológicas e aos avanços científicos que impulsionam o desenvolvimento de novas técnicas, processos e ferramentas produtivas. As transformações associadas à atual Revolução Industrial reafirmam seu papel decisivo na reconfiguração dos sistemas fabris, incorporando tecnologias digitais capazes de elevar a eficiência e aprimorar a execução das atividades organizacionais.

Nesse sentido, autores como Schmidt *et al.* (2015) destacam que a Indústria 4.0 se manifesta de forma heterogênea em diferentes regiões do mundo, com maior presença em países europeus, asiáticos e nos Estados Unidos, onde empresas de variados setores adotam ferramentas digitais avançadas. O desafio central consiste na substituição progressiva de sistemas tradicionais por processos altamente automatizados, ampliando a capacidade produtiva e viabilizando a manufatura de mercadorias modernas, tecnológicas e fabricadas em larga escala, conforme aponta The Boston Consulting Group (2015).

A literatura consultada também evidencia que essa nova revolução apresenta um potencial significativo para elevar a produtividade, aprimorar operações industriais e fortalecer a competitividade das organizações em um cenário global cada vez mais dinâmico. Estudos como os de Kagermann *et al.* (2013) e Kagermann (2014) reforçam que a Indústria 4.0 impulsiona novos modelos de negócios, serviços e produtos, estimulando um ecossistema industrial orientado à inovação contínua.

Assim, observa-se que a Indústria 4.0 não se restringe à substituição da mão de obra humana por robôs autônomos, mas representa uma redefinição completa do modo como os produtos são concebidos, desenvolvidos e disponibilizados ao mercado. Trata-se de uma transformação profunda que integra tecnologias avançadas como Inteligência Artificial, Internet das Coisas e sistemas ciberfísicos para aumentar a eficiência e flexibilizar os processos produtivos, atendendo a uma demanda crescente por personalização e agilidade.

Nesse contexto, destaca-se a estimativa de Bauer *et al.* (2014), segundo a qual as fábricas inteligentes podem gerar, até 2025, um impacto econômico de aproximadamente 78 bilhões de euros em seis setores industriais. Tal projeção revela o amplo potencial da Indústria 4.0 para criar novas oportunidades, elevar a qualidade de vida e intensificar o desenvolvimento tecnológico, ao mesmo tempo em que redefine a relação entre consumidores e organizações.

Ao longo da história, as Revoluções Industriais moldaram profundamente as relações de trabalho e o funcionamento das sociedades. O avanço contínuo das tecnologias digitais indica que a transformação atual não é um ponto de chegada, mas parte de um movimento mais amplo. Inclusive, especialistas afirmam que já caminhamos para a Indústria 5.0, que busca integrar valores humanos e sociais ao contexto industrial, promovendo maior colaboração entre pessoas e sistemas inteligentes.

Dessa forma, reafirma-se que a evolução industrial sempre surgiu como resposta às demandas de cada época, demonstrando sua capacidade de adaptação e expansão. A Indústria 4.0 representa, portanto, um marco decisivo na modernização produtiva e social, evidenciando que a tecnologia continuará sendo o eixo estruturante do mundo contemporâneo, tanto nas dinâmicas de trabalho quanto nas relações globais que moldam o futuro.

REFERÊNCIAS

- Amarante, S., *et al.* (2018). *A indústria 4.0 e seus impactos na sociedade*. Revista Braz Cubas. <https://revista.brazcubas.br/index.php/pesquisa>
- Araújo, C. I., *et al.* (2020). *Indústria 4.0 e seus impactos para o mercado de trabalho*. Brazilian Journal of Development, 6(5). <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). *Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic*. Journal of Industrial Information Integration, 6, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.10.002>
- Barbosa Júnior, A. V., & Guimarães Júnior, D. (2022). *Uma investigação sobre aplicações da*

- tecnologia 5G no setor logístico*. Revista Pernambucana de Administração, 2(1), 1–3.
<https://periodicos.upe.br/index.php/rpad/article/view/529>
- Bauer, W., Schlund, S., Hornung, T., & Schuler, S. (2014). *Industry 4.0 – Opportunities and challenges of the industrial internet*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com>
- Bitkom, VDMA, & ZVEI. (2016). *Industry 4.0 – Digitalisation of industrial production*. Bitkom Research. <https://www.bitkom.org>
- Boettcher, P. (2015). *Evolução da indústria e impactos da automação*. Atlas.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). *How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape*. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering, 8(1), 37–44.
- Caloi, J. (2018). *Indústria 4.0: Conceitos e aplicações*. Blucher.
- Carvalho, C. (2021). *Internet das coisas: Entenda o que é e como funciona*. TecMundo. <https://www.tecmundo.com.br/internet/230884-internet-coisas-entenda-funciona.htm>
- Cavalcante, S., et al. (2011). *Capitalismo e Revolução Industrial*. Cortez.
- Collabo. (2016). *Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos*. Collabo.
- Dathein, R. (2003). *A revolução industrial inglesa*. UFRGS.
- Gil, A. C. (2017). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6ª ed.). Atlas.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design principles for Industrie 4.0 scenarios*. In Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hobsbawm, E. (2000). *A era das revoluções: 1789–1848*. Paz e Terra.
- Iba, H., et al. (2017). *Artificial intelligence and industrial transformation*. AI Magazine, 38(3), 5–15. <https://doi.org/10.1609/aimag.v38i3.2736>
- Kagermann, H. (2014). *Change through digitization*. In H. Albach et al. (Eds.), *Management of permanent change* (pp. 23–45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech. <https://www.acatech.de>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lima Filho, R. N. Quanto mais faço, mais erro? Um estudo sobre a associação entre práticas de controladoria, cognição e heurística. 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado em Contabilidade) – Faculdade de Ciência Contábeis, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2010.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2019). *Fundamentos de metodologia científica* (8ª ed.). Atlas.
- Medeiros, J., & Rocha, C. (2004). *Tecnologia e desenvolvimento industrial*. Elsevier.
- Santos, B. P., Alberto, T. D. F. M., Lima, F. M. B., & Charrua-Santos, F. (2018). *Indústria 4.0: Desafios e oportunidades*. Revista Produção e Desenvolvimento, 4(1), 111–124. <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). *Industry 4.0 – Potentials for creating smart products*. Procedia CIRP, 19, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.05.038>
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. Edipro.
- Silva, E., & Gasparin, J. (2013). *Fordismo e organização do trabalho*. UFPR.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. Harper & Brothers.
- Tessarini Junior, G., & Saltorato, P. (2018). *Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: Uma revisão sistemática da literatura*. Revista Produção Online, 18(3), 743–769. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i3.2967>
- Venturelli, M. (2017). *Indústria 4.0 e inovação tecnológica*. Pearson.
- Zuchi, J. D., & Sakurai, R. (2018). *As revoluções industriais até a indústria 4.0*. Revista Interface Tecnológica, 15(2), 1–15. <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica>