

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS – DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

GNATALE MARLON BENJAMIM RIBEIRO

**REDE BLOCKCHAIN APLICADA NA INDÚSTRIA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**MANAUS-AM
2024**

GNATALE MARLON BENJAMIM RIBEIRO

**REDE BLOCKCHAIN APLICADA NA INDÚSTRIA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Celso Souza Cordeiro

Coordenador (a): Carlos Gomes Fontinelle

MANAUS-AM

2024

GNATALE MARLON BENJAMIM RIBEIRO

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Distrito Industrial

R484r Ribeiro, Gnatale Marlon Benjamin
Rede blockchain aplicada na indústria: uma revisão bibliográfica /
Gnatale Marlon Benjamin Ribeiro. – Manaus, 2024.
39f.: il. Color.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial, Curso de
Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2024.
Orientador: Prof. ^o Celso Souza Cordeiro

1. Blockchainl. 2. Indústria. 3. Inovação tecnológica. 4. Segurança de
dados. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência
e Tecnologia do Amazonas. III.Título.

CDD 621.382

GNATALE MARLON BENJAMIM RIBEIRO

**REDE BLOCKCHAIN APLICADA NA INDÚSTRIA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

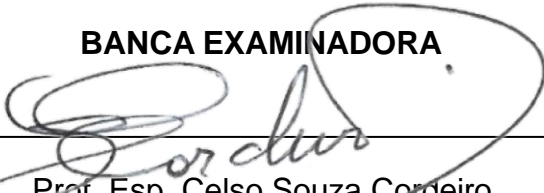
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Celso Souza Cordeiro

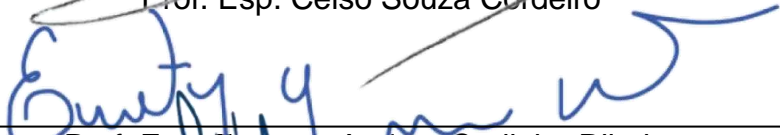
Coordenador (a): Carlos Gomes Fontinelle

Aprovado em 11 de dezembro de 2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro



Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro



Prof. Me. Jonas Micael Vieira de Lima

MANAUS-AM

2024

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio e contribuição de inúmeras pessoas, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Primeiramente, agradeço ao Orientador, por sua orientação, paciência e dedicação ao longo de todo o desenvolvimento deste estudo. Seu conhecimento e incentivo foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos, que compartilharam conhecimento, ideias e palavras de motivação nos momentos desafiadores.

À minha família, em especial, minha esposa pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo constante, que foram essenciais para que eu pudesse me dedicar plenamente a esta jornada.

Agradeço também ao IFAM, pelo suporte técnico e acadêmico, bem como a todos os professores e profissionais que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma forma, estiveram presentes nesta caminhada, meu mais sincero muito obrigado!

RESUMO

A tecnologia blockchain tem revolucionado diversos setores industriais, proporcionando maior segurança, transparência e eficiência na gestão de dados e transações. Este artigo explora a aplicação da blockchain na indústria, destacando seus principais benefícios, desafios e perspectivas futuras. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica de estudos nacionais recentes sobre o tema. Conclui-se que a blockchain tem potencial para transformar processos industriais, otimizando a cadeia de suprimentos, a rastreabilidade de produtos e a segurança cibernética.

Palavras-chave: Blockchain, Indústria, Inovação Tecnológica, Segurança de Dados.

ABSTRACT

Blockchain technology has revolutionized several industrial sectors, providing greater security, transparency and efficiency in data and transaction management. This article explores the application of blockchain in industry, highlighting its main benefits, challenges and future prospects. The methodology used is based on a bibliographical review of recent national studies on the topic. It is concluded that blockchain has the potential to transform industrial processes, optimizing the supply chain, product traceability and cybersecurity.

Keywords: Blockchain, Industry, Technological Innovation, Data Security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Esquema Típico de um Bloco | 11 |
| Figura 2 | Operação de uma Blockchain | 12 |
| Figura 3 | Sistema Centralizado x Blockchain Descentralizado | 14 |
| Figura 4 | Interação Blockchain | 16 |
| Figura 5 | Pilares da Indústria 4.0 | 19 |
| Figura 6 | Evolução: Indústria Moderna x Indústria 4.0 | 23 |
| Figura 7 | Indústria 4.0 x Indústria 5.0 | 30 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 1.1. Objetivos..... | 10 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 10 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos..... | 10 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 11 |
| 3 METODOLOGIA..... | 18 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 19 |
| 4.1. Desafios e Barreiras para Implementação..... | 23 |
| 4.2. Perspectivas Futuras..... | 27 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 32 |
| REFERÊNCIAS..... | 35 |

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a transformação digital tem impulsionado mudanças profundas na indústria, promovendo maior automação e eficiência operacional. Nesse contexto, a tecnologia blockchain surge como uma solução inovadora para aprimorar a segurança, a transparência e a confiabilidade das informações industriais.

A blockchain, originalmente desenvolvida para suportar transações financeiras com criptomoedas, demonstrou grande potencial de aplicação em diferentes setores. Sua capacidade de registrar informações de forma imutável e descentralizada tem sido explorada para resolver desafios relacionados à rastreabilidade de produtos, otimização da cadeia de suprimentos e segurança de dados.

Na indústria, ela tem o potencial de transformar completamente processos, trazendo vantagens como maior segurança, transparência e eficiência. Sua adoção está ganhando cada vez mais espaço nas mais diversas áreas, criando um novo paradigma para a maneira como as empresas operam.

O tema deste estudo está delimitado na análise da aplicação da blockchain na indústria, com enfoque nas vantagens proporcionadas pela sua adoção, nos desafios enfrentados para sua implementação e nas perspectivas futuras dessa tecnologia no setor industrial. A abordagem utilizada baseia-se em uma revisão bibliográfica, buscando identificar os principais avanços e entraves relacionados à implementação da blockchain.

A justificativa para a realização deste estudo reside na crescente necessidade das indústrias de modernizar seus processos e garantir maior confiabilidade nas transações e na gestão de informações. A adoção da blockchain pode representar um diferencial competitivo significativo, permitindo maior automação e redução de custos operacionais.

A problemática investigada envolve a seguinte questão: como a tecnologia blockchain pode ser aplicada na indústria para melhorar a eficiência, a segurança e a rastreabilidade dos processos produtivos? Essa questão norteia a estrutura do artigo e direciona a análise dos impactos da blockchain na modernização do setor industrial.

A relevância deste estudo se dá pela crescente digitalização da indústria, conhecida como Indústria 4.0, que demanda tecnologias capazes de proporcionar maior confiabilidade e eficiência nos processos produtivos. A blockchain, com sua estrutura descentralizada e imutável, apresenta-se como uma alternativa promissora para enfrentar os desafios da transformação digital.

Além disso, a integração da blockchain com outras tecnologias emergentes, como Inteligência Artificial e Internet das Coisas, pode impulsionar novas formas de automação e otimização de processos. Esse avanço pode permitir um nível inédito de interconectividade e segurança nas operações industriais.

Outro aspecto relevante a ser considerado é o impacto econômico da adoção da blockchain na indústria. A redução de custos operacionais, o aumento da eficiência e a mitigação de riscos financeiros podem gerar um ambiente mais competitivo e sustentável para as empresas do setor.

Adicionalmente, a crescente apreensão com a sustentabilidade tem incitado a busca por soluções tecnológicas que reduzam desperdícios e otimizem o uso de recursos naturais. A blockchain pode contribuir para a rastreabilidade sustentável de insumos, garantindo maior transparência nas cadeias produtivas e permitindo uma gestão mais eficiente dos processos industriais.

Também se torna fundamental considerar o papel das regulamentações e padronizações na adoção da blockchain na indústria. O desenvolvimento de normas específicas pode facilitar a integração da tecnologia nos processos industriais, garantindo conformidade legal e segurança para as empresas que adotam essa inovação.

Portanto, este estudo está estruturado da seguinte forma: no primeiro tópico depara-se com uma breve introdução acerca da temática; no segundo, foram abordados os fundamentos da tecnologia blockchain e suas principais características; no terceiro, foi descrito a metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos; no quarto, foram discutidas as aplicações práticas da blockchain no setor industrial, acompanhadas por uma análise dos desafios e barreiras para sua implementação, bem como identificação das perspectivas futuras da blockchain na indústria; e por fim, apresentadas as considerações finais.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a aplicabilidade da tecnologia blockchain na indústria, destacando seus benefícios, desafios e impacto na eficiência dos processos produtivos e na segurança da informação, além de avaliar os obstáculos que dificultam sua implementação em larga escala.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Examinar os conceitos fundamentais da tecnologia blockchain, suas características e funcionamento.
- Averiguar as principais aplicações da blockchain na indústria, identificando setores que mais se beneficiam dessa inovação.
- Analisar os desafios e barreiras enfrentados pelas empresas na implementação da blockchain, considerando aspectos técnicos, financeiros e regulatórios.
- Aferir o impacto da blockchain na segurança, transparência e rastreabilidade dos processos industriais.
- Identificar soluções e estratégias para superar os obstáculos à adoção da blockchain na indústria.
- Explorar as perspectivas futuras da tecnologia blockchain no contexto industrial, considerando tendências de inovação e regulamentação.

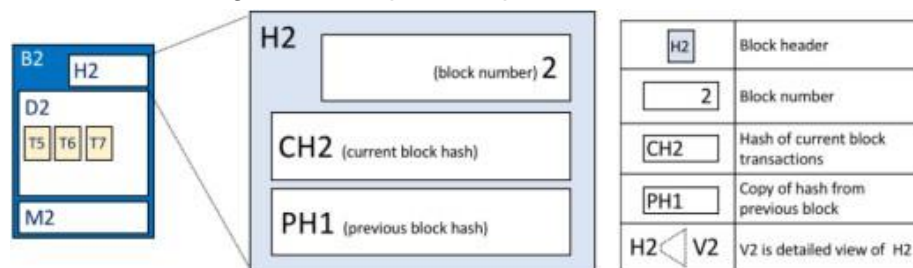
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A blockchain é uma tecnologia inovadora que opera como um livro-razão digital descentralizado, garantindo a integridade, transparência e segurança das transações registradas (EÇA, COSTA, OLIVEIRA, 2023). Seu funcionamento baseia-se na interligação de blocos protegidos por criptografia, evitando fraudes e manipulações indevidas (SOUZA, 2023). Entre as características, destacam-se a descentralização, imutabilidade e rastreabilidade dos dados, tornando-se uma ferramenta essencial para diversos setores industriais (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022).

O conceito fundamental da blockchain consiste na criação de registros imutáveis e verificáveis, onde cada bloco contém um conjunto de transações validadas e um identificador chamado hash, que tem a função de transformar uma quantidade de dados de tamanho indefinido, em uma cadeia única de caracteres de tamanho fixo. Esse mecanismo permite que os blocos sejam conectados de forma sequencial, formando uma cadeia inquebrável de informações que pode ser auditada a qualquer momento (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

Nesse contexto, a Figura 1 ilustra de forma detalhada a composição estrutural de um bloco típico de uma blockchain. O bloco (B2) é constituído por um conjunto de transações (D2), que inclui T5, T6 e T7, além de um conjunto de metadados (M2) e um cabeçalho (H2). O cabeçalho (H2), por sua vez, contém informações essenciais, como o número do bloco (2), um hash das transações armazenadas no próprio bloco (CH2) e uma cópia do hash referente ao bloco anterior (PH1), garantindo, assim, a integridade e a imutabilidade dos dados (DURANTE, 2021).

Figura 1 – Esquema Típico de um Bloco



Fonte: (HYPERLEDGER, 2020 *apud* DURANTE, 2021, p.18)

A descentralização da blockchain elimina a necessidade de intermediários para validar e registrar transações, diferindo dos sistemas tradicionais, que dependem de

bancos de dados centralizados e vulneráveis a ataques cibernéticos (SOUZA, 2020). Na rede blockchain, cada nó participante possui uma cópia completa do livro-razão, garantindo redundância e confiabilidade nos registros (MAGALHÃES, 2022).

A imutabilidade dos registros armazenados na blockchain impede modificações retroativas sem consenso da rede. Essa característica é crucial para setores como o financeiro, a logística e a manufatura, onde a integridade e autenticidade das informações desempenham um papel estratégico na tomada de decisões e na rastreabilidade dos processos (MANTELLI, 2019).

A segurança da blockchain é garantida pelo uso de algoritmos criptográficos avançados e mecanismos de consenso. O modelo Proof of Work, utilizado pelo Bitcoin, exige que os participantes resolvam complexos cálculos matemáticos para validar transações, enquanto o Proof of Stake e o Delegated Proof of Stake oferecem alternativas mais eficientes e sustentáveis, reduzindo o consumo energético sem comprometer a segurança (FERNAL, MADIO, 2020).

A transparência inerente à blockchain possibilita que todas as transações sejam registradas de maneira pública e auditável, permitindo que qualquer participante da rede verifique a autenticidade das operações, conforme observado na Figura 2 (GOMES, 2019). Esse fator é fundamental para setores que exigem altos níveis de confiabilidade, como a indústria alimentícia, farmacêutica e de bens de consumo (FERREIRA, OLIVEIRA, QUINTELLA, LIMA, 2021).

Figura 2 – Operação de uma Blockchain



Fonte: (WILD et al., 2015 *apud* GOMES, 2019, p. 20)

Logo, os tipos de blockchain podem ser classificados com base no nível de permissão e controle sobre a rede (ARÃO, YUDI, 2023). Aqui estão os principais:

- a) Blockchains públicos: Bitcoin e Ethereum, os exemplos mais conhecidos de redes de blockchain, são redes públicas. Qualquer pessoa pode ler e enviar transações ou participar do processo de consenso nessas plataformas, pois esse tipo de blockchain não exige permissão. Todas as transações são visíveis, mas os usuários têm a possibilidade de manter seu anonimato.
- b) Blockchains públicos: Bitcoin e Ethereum, os exemplos mais conhecidos de redes de blockchain, são redes públicas. Qualquer pessoa pode ler e enviar transações ou participar do processo de consenso nessas plataformas, pois esse tipo de blockchain não exige permissão. Todas as transações são visíveis, mas os usuários têm a possibilidade de manter seu anonimato.
- c) Blockchains semiprivados: Administrados por uma única empresa, esses blockchains concedem acesso a usuários que atendem a critérios específicos. Embora não sejam completamente descentralizados, esses blockchains "com permissão" são mais adequados para situações de negócios entre empresas e para aplicações governamentais.
- d) Blockchains privados: Totalmente controlados por uma organização, os blockchains privados definem quem pode ler e enviar transações e participar do processo de consenso. Por serem totalmente centralizados, esses blockchains são mais adequados para ambientes restritos, mas não são ideais para produção em larga escala.
- e) Consórcio: O modelo de consórcio é o mais popular atualmente no mundo dos negócios para redes blockchain. Neste tipo de blockchain, o consenso é controlado por um grupo pré-definido, como um conjunto de corporações. O acesso para ler o blockchain e realizar transações pode ser público ou restrito aos membros do consórcio.

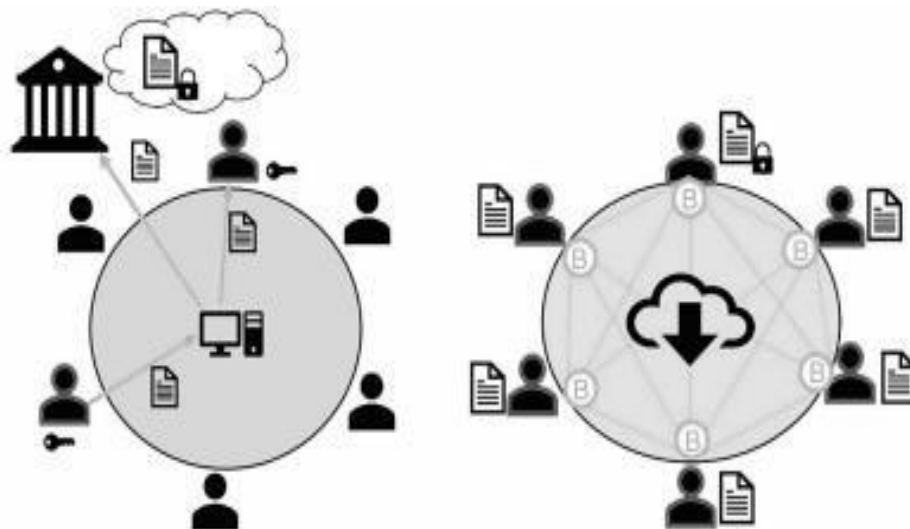
Blockchains de consórcio são considerados "com permissão" e são mais voltados para o uso corporativo.

Todavia, além das criptomoedas, a blockchain tem sido amplamente empregada em diversas aplicações industriais, incluindo contratos inteligentes, identidade digital, rastreamento de produtos e governança descentralizada (VICENTE, 2023). Os contratos inteligentes, por exemplo, são programas autoexecutáveis que garantem a execução automática de acordos sem a necessidade de intermediários, reduzindo custos operacionais e burocracias.

O rastreamento de produtos por meio da blockchain melhora a segurança e a transparência na cadeia de suprimentos, permitindo o monitoramento detalhado desde a produção até a entrega ao consumidor final (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). Essa aplicação assegura a autenticidade dos produtos, combate fraudes e facilita a conformidade regulatória, especialmente em setores como o farmacêutico e o alimentício (FERREIRA, OLIVEIRA, QUINTELLA, LIMA, 2021).

A governança descentralizada é outro benefício da blockchain, permitindo que decisões estratégicas sejam tomadas de forma coletiva e transparente, sem depender de uma entidade central. Esse modelo tem sido adotado em consórcios industriais e cadeias produtivas colaborativas, garantindo maior equidade e eficiência na gestão de recursos conforme ilustrado na Figura 3 (FERREIRA, OLIVEIRA, QUINTELLA, LIMA, 2021).

Figura 3 – Sistema Centralizado x Blockchain Descentralizado



Fonte: (PUTHAL et al., 2018 apud SOUSA, 2023, p. 14)

Já a integração da blockchain com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas e a Inteligência Artificial, possibilita a criação de ecossistemas industriais mais inteligentes e autônomos (SOUZA, 2023; FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022). A combinação dessas tecnologias permite monitoramento em tempo real, automação de processos e análises preditivas, otimizando a produtividade e a segurança operacional (VICENTE, 2023).

A interoperabilidade entre diferentes blockchains é um desafio que está sendo superado por meio de soluções inovadoras, permitindo que redes distintas se comuniquem e compartilhem dados de maneira eficiente. Esse avanço amplia o potencial de adoção da blockchain na indústria e facilita a integração com sistemas já existentes (SOUZA, 2023; FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022).

A escalabilidade da blockchain continua sendo um dos principais desafios para sua adoção em larga escala. Soluções como redes de segunda camada, sharding e novos algoritmos de consenso estão sendo desenvolvidas para mitigar esse problema, garantindo maior eficiência e rapidez nas transações (DAHMER, 2024).

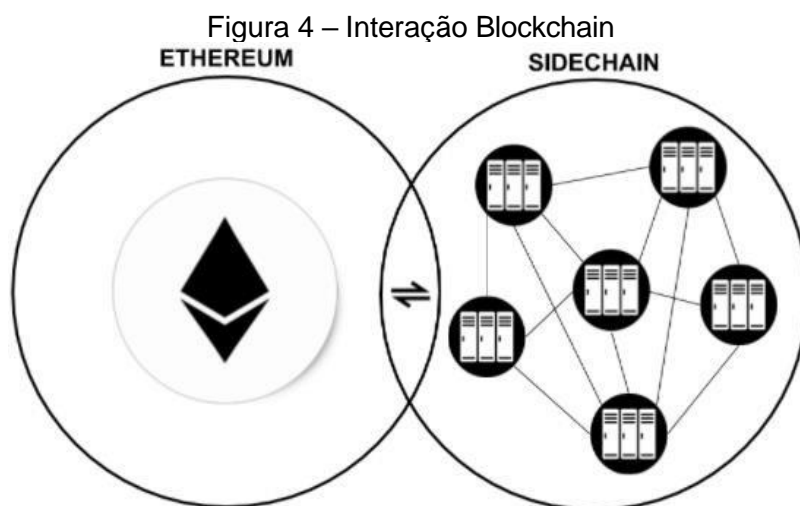
A regulamentação da blockchain tem avançado globalmente, impulsionando sua adoção em diversos setores industriais (RHI, GERDAU, 2021). A criação de normas e padrões específicos facilita a integração dessa tecnologia aos processos empresariais, assegurando conformidade e maior segurança jurídica para as organizações (DANTE, IGNÁCIO, 2022).

A privacidade dos dados é um fator essencial para a adoção da blockchain em ambientes industriais. Embora a transparência seja uma de suas características fundamentais, soluções como blockchains privadas e híbridas permitem maior controle sobre informações sensíveis, garantindo conformidade com regulamentos de proteção de dados (SOUZA, 2023; FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022).

O conceito de sidechains - solução de segunda camada criada para aprimorar a escalabilidade das transações em uma blockchain - tem sido explorado para aprimorar a flexibilidade e a eficiência das blockchains. Essas redes paralelas conectadas à blockchain principal permitem a execução de operações específicas

sem sobrecarregar a cadeia principal, melhorando a escalabilidade e a velocidade das transações, como ilustrado na Figura 4 (NASCIMENTO, 2024).

Também, a tokenização de ativos físicos está revolucionando a forma como bens e produtos são gerenciados e comercializados. Por meio da blockchain, ativos podem ser convertidos em tokens digitais, facilitando sua rastreabilidade, liquidez e segurança em operações industriais e comerciais (KARP, IGNÁCIO, 2023).



Fonte: (NASCIMENTO, 2024)

O setor energético tem explorado a blockchain para otimizar a distribuição e o comércio de energia (MANTELLI, 2019). A descentralização da rede permite transações diretas entre produtores e consumidores, criando mercados energéticos mais eficientes e sustentáveis, reduzindo desperdícios e aumentando a transparência.

Empresas do setor de manufatura estão utilizando a blockchain para garantir a autenticidade e a rastreabilidade de componentes, prevenindo fraudes e falsificações em cadeias produtivas complexas (ROCHA, SILVA, SILVEIRA, 2023). Essa aplicação fortalece a confiabilidade dos produtos e otimiza a gestão da cadeia de suprimentos (DANTE, IGNÁCIO, 2022).

A fusão da blockchain com tecnologias de Big Data possibilita análises avançadas e preditivas, aprimorando a eficiência operacional e estratégica das indústrias. Essa sinergia permite um melhor gerenciamento de riscos, otimização de recursos e aprimoramento contínuo dos processos industriais (RHI, GERDAU, 2021).

A segurança cibernética na blockchain pode ser reforçada com a introdução da computação quântica, um campo de pesquisa emergente que pode impactar significativamente os sistemas criptográficos utilizados nas redes descentralizadas. O desenvolvimento de novos protocolos de segurança será essencial para garantir a integridade das transações no futuro (EÇA, COSTA OLIVEIRA, 2023).

A blockchain tem impulsionado novos modelos de negócios baseados na economia colaborativa, permitindo transações diretas e descentralizadas entre partes interessadas. Esse modelo reduz custos, elimina intermediários e fortalece a transparência nas relações comerciais (FERNAL, MADIO, 2020).

O desenvolvimento de padrões globais para a adoção da blockchain na indústria acelerará sua implementação e garantirá maior interoperabilidade entre diferentes plataformas e setores (DAHMER, 2024). A padronização facilitará a integração dessa tecnologia aos processos empresariais e incentivará sua adoção em larga escala.

À medida que novas pesquisas e inovações emergem, a blockchain continuará evoluindo e consolidando-se como uma tecnologia essencial para a digitalização e modernização da indústria (SILVA, GONÇALVES, BONILLA, SACOMANO, 2023). Sua implementação estratégica representa não apenas uma solução para desafios atuais, mas também uma oportunidade para impulsionar um futuro mais transparente, seguro e eficiente, viabilizando novos modelos de negócios, redução de custos e maior competitividade global.

3 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica abrangente, com o objetivo de reunir e analisar as principais contribuições científicas e acadêmicas relacionadas à aplicação da tecnologia blockchain na indústria. A pesquisa foi conduzida a partir de fontes confiáveis, como artigos publicados em periódicos científicos, livros, dissertações, anais, entre outros de instituições reconhecidas.

A seleção das referências seguiu critérios de relevância e credibilidade, priorizando publicações atuais, a fim de garantir um panorama contemporâneo sobre os avanços e desafios da blockchain no setor industrial. Foram consultadas bases de dados, como Scielo, Google Acadêmico e periódicos em inovação tecnológica.

A abordagem utilizada na revisão bibliográfica permitiu a identificação das principais aplicações da blockchain na indústria, bem como os obstáculos enfrentados pelas empresas na implementação dessa tecnologia. Além disso, foram analisadas tendências iminentes e possíveis soluções para as barreiras identificadas, proporcionando uma visão ampla e procedente sobre o impacto da blockchain na modernização dos processos industriais, contribuindo para futuras pesquisas e práticas empresariais na área.

Adicionalmente, este estudo adotou uma abordagem qualitativa, buscando interpretar e contextualizar as informações coletadas a partir das fontes acadêmicas e técnicas. A análise crítica das publicações revisadas permite uma melhor compreensão das implicações da blockchain na indústria, possibilitando a identificação de oportunidades e obstáculos a serem enfrentados pelas empresas no processo de adoção da tecnologia.

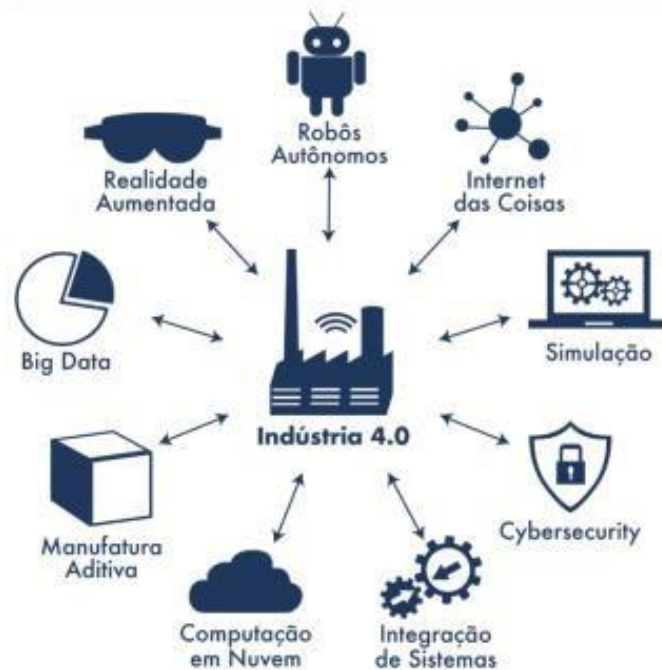
Por fim, a revisão bibliográfica também denotou os estudos mais relevantes sobre a tecnologia blockchain no contexto industrial, fornecendo uma base teórica sólida para sustentar futuras pesquisas. Além disso, espera-se que este estudo contribua significativamente para o avanço do conhecimento científico e tecnológico aplicado à Indústria e sua evolução, promovendo novas abordagens e soluções inovadoras para os desafios enfrentados pelo setor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tecnologia blockchain tem se consolidado como uma solução inovadora para a indústria, promovendo maior eficiência, transparência e confiabilidade em processos operacionais e transacionais (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). Sua arquitetura descentralizada, baseada em registros imutáveis e distribuídos, possibilita a criação de um ecossistema mais seguro, mitigando fraudes e reduzindo custos operacionais (DANTE, IGNÁCIO, 2022).

A versatilidade da blockchain permite sua aplicação em diferentes pilares industriais, como cadeia de suprimentos, manufatura, energia, logística e automação, trazendo avanços significativos para a Indústria 4.0 (Figura 5) (DAHMER, 2024).

Figura 5 – Pilares da Indústria 4.0



Fonte: (VICENTE, 2023, p. 9)

No setor da cadeia de suprimentos, a blockchain viabiliza o rastreamento completo de produtos e insumos, garantindo autenticidade, qualidade e conformidade regulatória (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). Empresas podem registrar todas as etapas da produção e distribuição na blockchain, proporcionando transparência para consumidores e facilitando auditorias regulatórias. Esse nível de controle reduz riscos de falsificação, melhora a gestão de estoques e assegura a

procedência de mercadorias, tornando o fluxo logístico mais eficiente (EÇA, COSTA OLIVEIRA, 2023).

A indústria alimentícia tem explorado a blockchain para garantir a rastreabilidade de ingredientes e produtos, assegurando o cumprimento de normas sanitárias e promovendo maior segurança alimentar (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022). Com registros imutáveis e verificáveis, empresas podem monitorar a origem dos insumos, os processos de fabricação e as condições de armazenamento e transporte, garantindo a qualidade dos produtos e permitindo ações rápidas em casos de contaminação ou recalls (VICENTE, 2023).

No setor farmacêutico, a blockchain desempenha um papel crucial na luta contra a falsificação de medicamentos (VICENTE, 2023). Ao registrar cada lote de produção na blockchain, os fabricantes criam um histórico inalterável, possibilitando a verificação da autenticidade dos produtos em qualquer ponto da cadeia de distribuição. Isso melhora a segurança dos pacientes, reduz perdas e fraudes e assegura conformidade com regulamentações sanitárias rigorosas (JESUS, 2023).

A manufatura tem adotado a blockchain para garantir a autenticidade e qualidade dos componentes utilizados na produção. Empresas podem verificar a procedência de matérias-primas e peças, assegurando conformidade com padrões técnicos e regulatórios (SOUZA, 2023; FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022). A integração da blockchain com tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) permite um controle mais preciso da produção, minimizando desperdícios e otimizando processos fabris (FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022).

A implementação de contratos inteligentes na indústria tem impulsionado a automação e a segurança nas transações comerciais (LIMA, MOTA, JUNIOR, 2023). Esses contratos autoexecutáveis eliminam intermediários e garantem que as obrigações contratuais sejam cumpridas automaticamente, sem a necessidade de intervenção manual. Empresas podem utilizá-los para agilizar pagamentos, reduzir burocracia e minimizar erros, promovendo maior eficiência e confiabilidade nos negócios (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

O setor energético tem utilizado a blockchain para descentralizar e otimizar a gestão de recursos energéticos (SOUZA, 2020). Com essa tecnologia, produtores e

consumidores podem negociar energia diretamente, sem a necessidade de intermediários, reduzindo custos e aumentando a eficiência do mercado (MANTELLI, 2019). Além disso, a blockchain viabiliza a criação de redes inteligentes de distribuição, promovendo o uso sustentável de fontes renováveis.

Na indústria automotiva, a blockchain tem sido aplicada para rastrear veículos e componentes, garantindo a autenticidade das peças utilizadas na fabricação e manutenção. Além disso, montadoras exploram a tecnologia para desenvolver sistemas de compartilhamento de veículos e registros digitais de propriedade, tornando o comércio de automóveis mais seguro e transparente (SILVA, GONÇALVES, BONILLA, SACOMANO, 2023).

A blockchain também tem sido amplamente adotada na indústria da moda e do luxo, onde a autenticidade e exclusividade são fatores determinantes para os consumidores. Grandes marcas utilizam a tecnologia para registrar a procedência de materiais e assegurar que os produtos sejam genuínos, combatendo falsificações e protegendo a identidade de suas grifes no mercado global (VICENTE, 2023).

A convergência da blockchain com a Inteligência Artificial (IA) e a IoT tem potencializado inovações industriais, permitindo a criação de sistemas de monitoramento em tempo real e análise preditiva de dados (SOUZA, 2023). Essa sinergia tecnológica melhora a eficiência operacional, reduz custos e aprimora a tomada de decisões estratégicas, proporcionando vantagens competitivas para as empresas (SOUZA, 2023; FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022).

A digitalização de ativos industriais por meio da blockchain está revolucionando a maneira como máquinas, equipamentos e instalações são gerenciados e transacionados (SILVA, GONÇALVES, BONILLA, SACOMANO, 2023). Empresas podem utilizar tokens digitais para representar ativos físicos, facilitando a negociação, manutenção e rastreamento ao longo de seu ciclo de vida, trazendo maior eficiência e segurança (EÇA, COSTA, OLIVEIRA, 2023).

A gestão de resíduos industriais também tem se beneficiado da blockchain, possibilitando o rastreamento do ciclo de vida de materiais recicláveis e incentivando práticas sustentáveis. Empresas podem registrar informações sobre descarte e

reaproveitamento de resíduos na blockchain, garantindo maior transparência e conformidade com regulamentações ambientais (FERNAL, MADIO, 2020).

O setor logístico tem encontrado na blockchain uma solução eficaz para eliminar gargalos operacionais e aprimorar a rastreabilidade de mercadorias (KARP, IGNÁCIO, 2023). A tecnologia permite registros descentralizados e imutáveis, reduzindo riscos de extravio, otimizando as entregas e promovendo maior eficiência nas cadeias de transporte global (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022).

Na construção civil, a blockchain tem sido utilizada para melhorar a gestão de contratos e materiais, garantindo conformidade com padrões de qualidade e segurança. Empresas podem monitorar cronogramas e execuções de projetos, reduzindo riscos de atrasos e sobrecustos, tornando os processos mais transparentes e confiáveis (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

A indústria de telecomunicações está explorando a blockchain para garantir a segurança e integridade dos dados trafegados em redes digitais (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). Além disso, a tecnologia possibilita a criação de contratos inteligentes para planos de serviços, promovendo maior transparência na relação entre operadoras e clientes (NUNES, 2022).

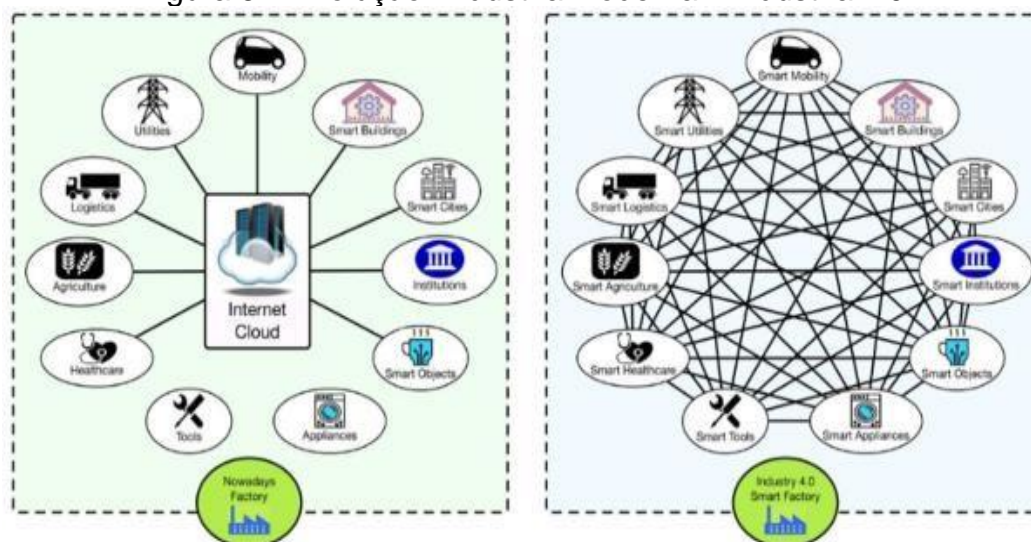
No setor de seguros, a blockchain tem reduzido fraudes e aprimorado a transparência no processamento de sinistros. Com contratos inteligentes, seguradoras podem automatizar verificações e pagamentos, diminuindo custos administrativos e melhorando a experiência do cliente (LIMA, MOTA, JUNIOR, 2023).

Empresas do setor químico e petroquímico utilizam a blockchain para monitoramento de substâncias e conformidade regulatória (GOMES, 2019). A rastreabilidade segura e descentralizada facilita a gestão de produtos químicos perigosos, garantindo maior segurança no manuseio e transporte dessas substâncias (DURANTE, 2021).

Vale destacar que o modelo da Indústria 4.0 impulsiona a adoção dessa tecnologia inovadora, promovendo a modernização da comunicação das indústrias contemporâneas e possibilitando a transição de um modelo tradicional baseado em computação em nuvem ou serviços de internet para uma estrutura descentralizada e

distribuída (VICENTE, 2023). Como ilustrado na Figura 6, essa nova abordagem permite que todos os participantes compartilhem informações diretamente entre si, por meio de uma rede peer-to-peer, assegurando maior autonomia, segurança e transparência nos processos industriais.

Figura 6 – Evolução: Indústria Moderna x Indústria 4.0



Fonte: (VICENTE, 2023, p. 27)

A indústria cinematográfica e do entretenimento também tem adotado a blockchain para proteção de direitos autorais e transparência na distribuição de receitas. Artistas e produtores podem registrar suas obras na blockchain, assegurando remuneração justa e combatendo a pirataria digital (SILVA, GONÇALVES, BONILLA, SACOMANO, 2023).

A tecnologia blockchain tem sido aplicada na indústria naval para otimizar processos logísticos e garantir a certificação de cargas e embarcações. Sua adoção proporciona maior confiabilidade documental e reduz burocracias em operações portuárias internacionais (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020).

Com a evolução constante da blockchain, novas aplicações continuam emergindo e transformando o cenário industrial (DAHMER, 2024). À medida que as empresas incorporam essa tecnologia, desafios como escalabilidade, custo e regulamentação serão superados, consolidando a blockchain como um dos pilares essenciais da Indústria 4.0 e impulsionando a inovação e competitividade no setor global.

4.1. Desafios e Barreiras para Implementação

A adoção da tecnologia blockchain na indústria enfrenta uma série de desafios e barreiras que dificultam sua implementação em larga escala. Apesar de suas vantagens, como segurança e transparência, há questões técnicas, regulatórias e culturais que precisam ser superadas para que sua aplicação se torne viável e amplamente aceita no setor industrial (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020).

Um dos principais desafios enfrentados pelas empresas é a complexidade técnica da blockchain. A necessidade de uma infraestrutura robusta, combinada com a falta de profissionais qualificados, torna o processo de adoção oneroso e demorado. Além disso, a curva de aprendizado para compreender e integrar essa tecnologia nos processos existentes pode ser íngreme, exigindo investimentos significativos em capacitação e desenvolvimento (ROCHA, SILVA, SILVEIRA, 2023).

A escalabilidade da blockchain é outra barreira que impede sua implementação eficiente em algumas indústrias. Redes blockchain públicas, como Bitcoin e Ethereum, enfrentam limitações quanto à quantidade de transações processadas por segundo, o que pode se tornar um problema para setores que demandam alta velocidade e grande volume de operações (MOURA, BRAUNER, MUNIZ, 2020). Soluções como redes privadas, sidechains e melhorias nos algoritmos de consenso estão sendo desenvolvidas para mitigar essa questão.

Os custos elevados de implementação também representam um entrave para muitas empresas. A criação de uma infraestrutura blockchain personalizada pode ser financeiramente inviável para pequenas e médias indústrias (MIRANDA, ZUCHI, 2018). Além disso, os gastos com energia elétrica, principalmente em redes que utilizam o mecanismo de consenso Proof of Work, podem tornar a tecnologia insustentável economicamente (MANTELLI, 2019).

A interoperabilidade entre diferentes sistemas industriais é um desafio crítico. Muitas empresas já utilizam plataformas de gestão e controle que não foram projetadas para integração com blockchain (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). A falta de padronização na tecnologia dificulta a comunicação entre diferentes

redes, tornando a transição para blockchain mais complexa e dispendiosa (NUNES, 2022).

No âmbito regulatório, a ausência de um arcabouço jurídico claro para o uso da blockchain na indústria gera incertezas. Questões relacionadas à proteção de dados, conformidade com normas governamentais e aceitação legal de contratos inteligentes ainda estão em discussão em diversos países (LIMA, MOTA, JUNIOR, 2023). No Brasil, por exemplo, a regulação da tecnologia ainda está em desenvolvimento, o que pode atrasar sua adoção por empresas receosas quanto à segurança jurídica.

A resistência organizacional e cultural também impacta a implementação da blockchain na indústria (DAHMER, 2024). Muitas empresas hesitam em adotar novas tecnologias disruptivas devido ao medo de mudanças, à falta de conhecimento sobre seus benefícios ou ao receio de expor dados estratégicos em redes descentralizadas (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022). Além disso, setores que tradicionalmente dependem de intermediários financeiros e logísticos podem enfrentar resistência de atores que têm seus modelos de negócios ameaçados pela blockchain (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

A governança da blockchain é outro aspecto que precisa ser aprimorado para garantir sua adoção eficaz (NASCIMENTO, 2024). Em redes descentralizadas, a tomada de decisão muitas vezes não é centralizada, o que pode dificultar a implementação de mudanças e atualizações. Questões como consenso entre participantes, controle de acessos e administração de permissões devem ser bem definidas para evitar conflitos operacionais (ROCHA, SILVA, SILVEIRA, 2023).

A segurança cibernética, embora seja um dos principais pontos positivos da blockchain, também representa um desafio. Embora a tecnologia seja altamente resistente a fraudes e ataques, sua implementação inadequada pode expor vulnerabilidades, como a perda de chaves privadas, ataques a contratos inteligentes e falhas em redes permissionadas (OLIVEIRA, DOURADO, AQUINO et al., 2020). A necessidade de auditorias e protocolos de segurança rigorosos é essencial para mitigar esses riscos.

Outro desafio importante é a adoção em larga escala da blockchain dentro das cadeias de suprimentos globais. Para que a tecnologia atinja seu potencial máximo,

todas as partes envolvidas – fornecedores, distribuidores, clientes e reguladores – precisam aderir ao sistema (FERNAL, MADIO, 2020). No entanto, a falta de alinhamento entre os diferentes atores pode atrasar sua aceitação e gerar dificuldades na padronização dos processos.

Além desses aspectos, a adaptação dos processos empresariais à blockchain exige mudanças estruturais significativas (NASCIMENTO, 2024). Modelos tradicionais de gestão devem ser revisados para permitir a incorporação da tecnologia de forma eficiente, o que pode ser um entrave para empresas que operam com processos rígidos e sistemas legados (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

A dependência de infraestrutura tecnológica robusta pode ser um obstáculo. Muitas indústrias ainda não possuem a capacidade de processar grandes volumes de dados de forma eficiente, o que compromete o desempenho de sistemas baseados em blockchain (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022). Melhorias na infraestrutura de TI e investimentos em soluções escaláveis são fundamentais para superar essa barreira.

A adoção da blockchain também demanda um esforço colaborativo entre empresas, instituições de pesquisa e governos para o desenvolvimento de padrões e regulamentações que facilitem sua implementação (NASCIMENTO, 2024). A falta de iniciativas coordenadas pode retardar a padronização da tecnologia, dificultando sua adoção em larga escala.

Outro fator relevante é a necessidade de adaptação cultural dentro das organizações. A implementação da blockchain altera significativamente a forma como as transações e a gestão de dados são conduzidas, exigindo uma mudança de mentalidade e uma aceitação maior da descentralização e transparência proporcionadas pela tecnologia (ROCHA, SILVA, SILVEIRA, 2023).

A dependência de fornecedores e parceiros para a adoção da blockchain pode ser um fator limitante. Muitas empresas hesitam em investir na tecnologia sem a garantia de que seus parceiros comerciais também irão aderir ao sistema, criando um efeito de inércia que dificulta sua implementação (DAHMER, 2024).

A necessidade de auditoria e monitoramento contínuo dos contratos inteligentes também é um desafio. Contratos mal codificados podem levar a falhas graves, impactando negativamente a segurança e a confiabilidade da tecnologia. Portanto, é essencial que haja ferramentas avançadas para análise e validação desses contratos (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).

Por fim, o avanço da blockchain na indústria dependerá da evolução das regulamentações e do desenvolvimento de soluções que tornem a tecnologia mais acessível e integrada aos sistemas empresariais já existentes. O futuro da blockchain na indústria dependerá da superação desses desafios por meio de inovação, pesquisa e colaboração entre os diferentes atores do setor.

4.2. Perspectivas Futuras

A Indústria 4.0 está revolucionando os setores produtivos. Dentro deste cenário, a blockchain se destaca como uma das tecnologias-chave para melhorar a eficiência, segurança e transparência dos processos (MAGALHÃES, 2022). À medida que o mundo avança em direção à transformação digital, a blockchain tem o poder de continuar moldando a maneira como as empresas operam e interagem com seus clientes (DAHMER, 2024).

As perspectivas futuras para a blockchain na indústria são animadoras, com inovações tecnológicas que têm o potencial de revolucionar ainda mais os processos de negócios (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022).

1. **Expansão na Automação e Inteligência Artificial:** A integração de blockchain com tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial e a automação, promete um avanço significativo (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022). As empresas podem usar inteligência artificial para otimizar transações em blockchain, antecipando tendências e melhorias operacionais. Isso pode resultar em sistemas autônomos mais inteligentes, que tomam decisões baseadas em dados registrados na blockchain, tornando processos mais rápidos, seguros e eficientes (DAHMER, 2024).

2. Blockchain no 5G e Internet das Coisas: Com a expansão do 5G e a proliferação de dispositivos conectados por meio da Internet das Coisas, o blockchain desempenhará um papel fundamental na gestão e segurança dessas redes (FROGERI, OLIVEIRA, PRADO et al., 2022). A blockchain pode garantir a integridade e a autenticidade dos dados transmitidos entre dispositivos, além de permitir transações seguras e automáticas entre as máquinas. A combinação do blockchain com Internet das Coisas será fundamental para a criação de ambientes mais inteligentes e interconectados (SILVA, SANTOS, NÓBREGA et al., 2022).
3. Soluções para a Economia Descentralizada: O futuro da blockchain inclui a crescente adoção da "Economia Descentralizada", onde as transações e a governança são feitas diretamente entre indivíduos e empresas (NASCIMENTO, 2024), sem a necessidade de intermediários. Plataformas descentralizadas, como as finanças descentralizadas, estão ganhando espaço, permitindo que pessoas façam transações financeiras, empréstimos e investimentos de maneira mais acessível e sem a intermediação de bancos ou outras instituições financeiras tradicionais (MIRANDA, ZUCHI, 2018).
4. Blockchain para Sustentabilidade e Energia Renovável: A demanda por soluções mais sustentáveis continuará a crescer, e o blockchain desempenha um papel crucial na promoção de uma economia mais verde (VICENTE, 2023). No setor de energia, a blockchain pode ser usada para rastrear o uso de energia renovável, criar mercados de energia peer-to-peer e possibilitar a negociação de créditos de carbono de forma transparente (MANTELLI, 2019). Essas inovações permitirão que empresas e consumidores contribuam de forma mais eficiente para a adoção de práticas sustentáveis.
5. Adoção Generalizada nas Cadeias de Suprimentos: A blockchain está em uma posição única para transformar a gestão de cadeias de suprimentos em várias indústrias (DANTE, IGNÁCIO, 2022). A rastreabilidade em tempo real, a verificação de autenticidade e a redução de fraudes são aspectos fundamentais que o blockchain

pode proporcionar (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022). Com o aumento da globalização e a demanda por transparência por parte dos consumidores, as empresas se beneficiarão de sistemas de blockchain que garantem a integridade e a eficiência de toda a cadeia de suprimentos, desde a produção até a entrega final (NETO, 2022).

6. Aumento da Adoção em Setores Governamentais e Públicos: Os governos de todo o mundo estão começando a reconhecer o valor da blockchain, principalmente no que diz respeito à transparência, rastreabilidade e segurança dos dados (BONALDI, SOUZA, GAUDENCIO, 2022). Em um futuro próximo, espera-se que as administrações públicas adotem amplamente a tecnologia para gerenciamento de registros, votação eletrônica e rastreamento de processos burocráticos (NETO, 2022). A blockchain pode reduzir fraudes e aumentar a confiança pública nos serviços.
7. Desenvolvimento de Blockchains Privados e Permissionais: Embora os blockchains públicos sejam populares por sua descentralização e transparência, empresas de diversos setores tendem a adotar blockchains privados e permissionados (MOURA, BRAUNER, MUNIZ, 2020). Esses sistemas, oferecem maior controle e personalização, sendo ideais para empresas que necessitam de maior confidencialidade, como no setor financeiro ou gerenciamento de dados sensíveis (DAHMER, 2024; NASCIMENTO, 2024).
8. Avanços na Escalabilidade e Eficiência Energética: Uma das maiores limitações dos blockchains atuais, especialmente os públicos, é a escalabilidade e o consumo de energia (MANTELLI, 2019). No futuro, espera-se que a blockchain evolua para ser mais eficiente em termos de capacidade de processamento e consumo de energia. Soluções como Proof of Stake e Sharding são algumas das propostas que podem resolver esses problemas, permitindo que o blockchain lide com um número maior de transações sem sobrecarregar os sistemas e sem aumentar o consumo de energia de forma desproporcional (FERNAL, MADIO, 2020).

9. Blockchain e Regulações: À medida que a tecnologia blockchain se espalha por diferentes setores, a necessidade de regulamentação aumentará (SOUZA, 2023). As autoridades regulatórias deverão trabalhar para criar um ambiente jurídico que balanceie a inovação com a proteção contra fraudes e abusos. Espera-se que o futuro traga uma regulamentação mais clara e adaptada, permitindo que as empresas adotem a blockchain com confiança, sem comprometer a conformidade legal (VICENTE, 2023).
10. Transformação nas Experiências do Consumidor: A blockchain tem o potencial de transformar a maneira como os consumidores interagem com as empresas (DAHMER, 2024). Ao permitir transações mais rápidas, seguras e transparentes, os consumidores terão uma experiência mais satisfatória e confiável. A implementação de contratos inteligentes, por exemplo, pode automatizar acordos e pagamentos, reduzindo o tempo e as despesas para consumidores e empresas.

Todavia, a Indústria 5.0 representa a próxima etapa na evolução da manufatura e da tecnologia. Enquanto a Indústria 4.0 destacou a automação e a eficiência, a Indústria 5.0 visa fortalecer a conexão entre tecnologia e sociedade, com ênfase em inclusão e impacto humano, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Indústria 4.0 x Indústria 5.0



Fonte: (SOUSA, 2023, p. 15)

Em suma, as perspectivas futuras para a blockchain na indústria são vastas e repletas de possibilidades. Com avanços tecnológicos constantes e um aumento da adoção por diversos setores, a blockchain tem o potencial de reconfigurar o panorama global, oferecendo soluções mais seguras, eficientes e transparentes. A tecnologia não apenas abrirá novas oportunidades de negócios, mas também criará um ambiente mais confiável e descentralizado para todos os envolvidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A blockchain representa uma inovação tecnológica com grande potencial para a indústria, oferecendo soluções relacionadas à segurança, rastreabilidade e eficiência operacional. Apesar dos desafios, seu desenvolvimento e adoção devem crescer nos próximos anos, impulsionando a modernização do setor industrial.

A segurança dos dados é uma das principais vantagens da blockchain. Em um ambiente industrial onde informações sensíveis e críticas são constantemente geradas, a tecnologia garante que esses dados sejam imutáveis e criptografados, dificultando qualquer tentativa de alteração ou fraude. Isso proporciona um nível de confiança sem precedentes nos sistemas industriais, especialmente em setores como manufatura, logística e gestão de cadeias de suprimentos.

Outro benefício importante da blockchain é a melhoria da rastreabilidade e transparência nas cadeias de suprimentos. Ao registrar todas as transações e movimentações de produtos de forma descentralizada, a blockchain oferece um nível de visibilidade que era impossível com os sistemas tradicionais. Isso não apenas reduz as possibilidades de fraude e erro, mas também permite que empresas e consumidores acompanhem o percurso de produtos, desde a origem das matérias-primas até a entrega final.

A aplicação de contratos inteligentes dentro da blockchain também é um avanço significativo para a indústria. Esses contratos automáticos permitem a execução de acordos sem necessidade de intermediários, o que não só acelera os processos, mas também reduz custos operacionais. Na prática, isso significa uma maior agilidade na execução de transações comerciais, na gestão de estoques e até mesmo em processos de produção, onde as máquinas podem interagir de forma autônoma sem a necessidade de supervisão constante.

A blockchain também facilita a descentralização dos processos industriais. Em um ambiente tradicional, muitas operações dependem de uma autoridade central para coordenar atividades, mas a blockchain distribui o controle entre diversos participantes da rede, criando um sistema mais robusto e resiliente. Essa descentralização aumenta a flexibilidade das operações industriais e permite que decisões sejam tomadas de

forma mais rápida e autônoma, sem a necessidade de esperar pela aprovação de uma entidade central.

A sustentabilidade é outro campo no qual a blockchain tem mostrado grande potencial. No contexto da economia circular, por exemplo, a blockchain pode garantir que os materiais sejam rastreados ao longo de seu ciclo de vida, promovendo práticas mais eficientes e ecológicas.

Além disso, a tecnologia pode ser usada para validar e gerenciar iniciativas relacionadas à compensação de emissões de carbono, tornando os processos mais transparentes e auditáveis, o que é uma necessidade crescente para empresas que buscam cumprir regulamentações ambientais mais rigorosas.

Na indústria de energia, a blockchain está abrindo novas oportunidades com a criação de mercados descentralizados de energia. Com a implementação de redes inteligentes, os consumidores podem vender e comprar energia renovável diretamente uns com os outros, utilizando a blockchain para garantir a segurança e a integridade das transações. Esse modelo tem o potencial de democratizar o acesso à energia e contribuir para um uso mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos.

Entretanto, a implementação da blockchain na indústria ainda enfrenta desafios significativos. Questões como a falta de familiaridade com a tecnologia, dificuldades de integração com sistemas legados e a necessidade de uma regulamentação mais clara são obstáculos que precisam ser superados para que a blockchain seja adotada em larga escala. Ainda, a escalabilidade e a eficiência energética de algumas plataformas de blockchain precisam ser aprimoradas para lidar com grandes volumes de dados e transações, características típicas de ambientes industriais.

No entanto, à medida que as tecnologias relacionadas à blockchain evoluem e a regulamentação se ajusta, as perspectivas para o uso da blockchain na indústria são promissoras. A tendência é que, a tecnologia se torne acessível e sua aplicação mais integrada aos processos industriais existentes, criando um sistema eficiente, seguro e transparente. Isso permitirá não apenas um aumento na produtividade, mas também uma transformação nos modelos de negócios, com a introdução de novas soluções que otimizam recursos e melhoram a competitividade das empresas.

Em resumo, a blockchain representa uma revolução no setor industrial, com um potencial para transformar a maneira como as empresas operam, interagem com seus fornecedores e entregam valor aos clientes. Embora haja desafios a serem enfrentados, as vantagens que a tecnologia oferece são inegáveis. O futuro da indústria, alimentado pela inovação trazida pela blockchain, será caracterizado por operações mais inteligentes, autônomas e interconectadas, abrindo caminho para novas oportunidades de crescimento e evolução.

REFERÊNCIAS

ARÃO, G.; YUDI, J. Blockchain na Indústria 4.0 - Definição, Aplicabilidade e Desenvolvimento. **12º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, ABCM, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.sistema.abcm.org.br/articleFiles/download/37348>. Acesso em: dez/2024.

BONALDI, J.D.T.; SOUZA, L.L.; GAUDENCIO, J.H.D. A rastreabilidade na Indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura. **XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção** - ENEGEP, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2022. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_ST_385_1911_43300.pdf. Acesso em: out/2024.

DAHMER, L.J.N. Transformação Digital na Quarta Revolução Industrial: desafios e oportunidades para a Gestão de Projetos. **Revista Científica Sistemática**, vol. 14, nº 5, 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/RCS/article/view/5714>. Acesso em: dez/2024.

DANTE, A.C.M.; IGNÁCIO, P.S.A. A Tecnologia Blockchain como ferramenta estratégica no Rastreo e Previsibilidade de materiais na Cadeia de Suprimentos: uma revisão sistemática. **XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção** - ENEGEP, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2022. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_ST_382_1886_43554.pdf. Acesso em: dez/2024.

DURANTE, G.C. **A utilização de Blockchain para controle da cadeia de distribuição de combustíveis derivados**: proposta de modelo de negócio. TCC, Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2021. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/52918/52918.PDF>. Acesso em: nov/2024.

EÇA, J.P.A.; COSTA, C.M.; OLIVEIRA, L.B. Análise das empresas brasileiras que empregam a tecnologia blockchain em seus modelos de negócios. **Revista Fatec Zona Sul**, vol. 10, nº 100, 2023. Disponível em: <https://www.revistarefas.com.br/VerFATECZS/article/view/659>. Acesso em: nove/2024.

FERNAL, A. MADIO, T.C.C. **Blockchain aplicado à segurança da informação orgânica**. Simpósio Internacional de Arquivos, Editora Even3, São Paulo, 2020. Disponível em: <http://arquivistica.fci.unb.br/au/blockchain-aplicado-a-seguranca-da-informacao-organica/>. Acesso em: dez/2024.

FERREIRA, A.G.; OLIVEIRA, R.S.; QUINTELLA, C.M.; LIMA, C.P. Potencial da Aplicação de Blockchain para a Rastreabilidade de Cadeias de Alimentos Sustentáveis: um estudo prospectivo. **Cadernos De Prospecção**, vol. 14, nº 3, 2021.

Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/38358>. Acesso em: dez/2024.

FROGERI, R.F.; OLIVEIRA, L.V.; PRADO, L.A.; PIURCOSKY, F.P.; JÚNIOR, P.S.P.; ALVES, A.F. Blockchain e Internet das Coisas: reflexões na ótica de profissionais e acadêmicos do campo de Tecnologia da Informação. **Textos para Discussão**, vol. 1, nº 1, 2022. Disponível em: <https://ojs.periodicos.unis.edu.br/textosparadiscussao/article/view/658/453>. Acesso em: nov/2024.

GOMES, V.J.F. **Blockchain**: um panorama científico e tecnológico. TCC, Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Química e Biotecnologia, Maceió, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6701>. Acesso em: dez/2024.

JESUS, R.A. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: blockchain nas indústrias farmacêuticas. TCC, Universidade Federal do Paraná, Ciências Sociais e Aplicadas, Controladoria, 2023. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/87725>. Acesso em: dez/2024.

KARP, J.; IGNÁCIO, P.S.A. Aplicação da tecnologia blockchain para rastreabilidade e monitoramento de cadeias de suprimento de pescados. **XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2023. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/TN_ST_400_1961_46340.pdf. Acesso em: nov/2024.

LIMA, T.A.R.M.; MOTA, I.T.S.; JUNIOR, C.M.M. Blockchain e Contratos Inteligentes na Construção Civil 4.0. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, vol. 11, nº 1, 2023. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/1598>. Acesso em: nov/2024.

MAGALHÃES, E.R.F. **O emprego da Blockchain na Indústria 4.0 e perspectivas para a Indústria 5.0**: um estudo bibliométrico. TCC, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Engenharia de Computação, Sobral, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/73135/1/2022_tcc_ermfilho.pdf. Acesso em: nov/2024.

MANTELLI, F.M. **Blockchain e Smart Contracts: transações Peer-to-Peer para Comercialização de Energia Elétrica de Microrredes**. TCC, Instituto Federal de Santa Catarina, Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/1151/Fabio%20Mantelli%20TCC%20Blockchain%20e%20Smart%20Contracts.pdf>. Acesso em: dez/2024.

MIRANDA, J.C.; ZUCHI, J.D. Tecnologia Blockchain: a disrupção na indústria financeira. **Revista Interface Tecnológica**, vol. 15, nº 2, 2018. Disponível em:

<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/376>. Acesso em: dez/2024.

MOURA, L.M.F.; BRAUNER, D.F.; MUNIZ, R.J. Blockchain e a Perspectiva Tecnológica para a Administração Pública: Uma Revisão Sistemática. **Revista de Administração**, vol. 24, nº 3, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/fDJkpGFF4gH8xmgnLCYRB8z/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: dez/2024.

NASCIMENTO, E.F.A. Blockchain Technology: conceitos e aspectos disruptivos. Ciências Sociais Aplicadas, **Revista Tópicos**, vol. 2, nº 14, 2024. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/blockchain-technology-conceitos-e-aspectos-disruptivos>. Acesso em: dez/2024.

NETO, H.K. **Tecnologia Blockchain no rastreamento e transparência na Cadeia de Suprimentos Têxtil**. TCC, Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244930> . Acesso em: nov/2024.

NUNES, P.R.M. **Utilização de Blockchain em Redes de Comunicação Industrial**. TCC, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/48338/1/TCC%20Paulo%20Ricardo%20Moneta%20Nunes.pdf> . Acesso em: nov/2024.

OLIVEIRA, P.L.; DOURADO, M.; AQUINO, G.P.; DOMICIANO, A.C.; CARMOS, F.A.S.C. Aplicação da Blockchain em problemas de Engenharia de Telecomunicações. **Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel**, 2020. Disponível em: <https://inatel.br/csilab/documents/pl-de-oliveira.pdf> . Acesso em: dez/2024.

RHI; GERDAU. **RHI Magnesita e Gerdau são pioneiras mundiais no uso de blockchain na indústria do aço**. Instituto Brasileiro de Mineração, 2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/rhi-magnesita-e-gerdau-sao-pioneiras-mundiais-no-uso-de-blockchain-na-industria-do-aco/>. Acesso em: out/2024.

ROCHA, E.C.F.; SILVA, R.O.; SILVEIRA, R.I.M. A Tecnologia Blockchain como ferramenta de rastreabilidade em Cadeias de Suprimentos. ABEPRO, **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, vol. 23, nº 3, 2023. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/5129/2348>. Acesso em: out/2024.

SILVA, M.T.; GONÇALVES, R.F.; BONILLA, S.H.; SACOMANO, J.B. **Transformação Digital e Indústria 4.0: produção e sociedade**. Editora Edgard Blucher Ltda, São

Paulo, 2023. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/PDF_transformacao.pdf. Acesso em: nov/2024.

SILVA, J.; SANTOS, D.; NÓBREGA, J.S.W.; DIAS, F.C. Estudo da Aplicação de Blockchain na Indústria Logística. **Cartas de Economia Teórica**, vol. 12, nº 2, 2022. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=115674>. Acesso em: out/2024.

SOUSA, L.F.R. **Blockchain na Indústria 4.0**: Caso de estudo na indústria farmacêutica. TCC, Área de Especialização em Sistemas Gráficos e Multimídia, Porto, 2023. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/24251/1/Tese_5106.pdf. Acesso em: dez/2024.

SOUSA, J.C.; FORMIGONI, J.R. Plataforma de Mercado para Compartilhamento de Infraestrutura de Telecomunicações Baseado em Blockchain. **Anais do II Colóquio em Blockchain e Web Descentralizada**, Porto Alegre: SBC Open Lib, 2024. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/cblockchain/article/view/29605>. Acesso em: nov/2024.

SOUZA, F.R. Aplicação da Blockchain e IoT na Gestão da Cadeia de Suprimentos: um estudo de caso sobre rastreabilidade. ABEPRO, **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, vol. 23, nº 3, 2023. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/5016/2325>. Acesso em: out/2024.

SOUZA, W.F.P. **Blockchain e a Captação Pública de Recursos**: um comparativo entre IPO e ICO à luz das normas da CVM. Editora Expert, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://experteditora.com.br/wp-content/uploads/2020/12/blockchain.pdf>. Acesso em: nov/2024.

VICENTE, B.C.A. **Um estudo da tecnologia blockchain e seu papel na Indústria 4.0**. TCC, Universidade Federal de Ouro Preto, Engenharia de Controle e Automação, Minas Gerais, 2023. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5263/6/MONOGRAFIA_EstudoTecnologiaBlockchain.pdf. Acesso em: nov/2024.