



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**EXPEDITO RODRIGUES MAGALHÃES FILHO**

**O EMPREGO DA BLOCKCHAIN NA INDÚSTRIA 4.0 E PERSPECTIVAS PARA A  
INDÚSTRIA 5.0: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO**

**SOBRAL**

**2022**

EXPEDITO RODRIGUES MAGALHÃES FILHO

O EMPREGO DA BLOCKCHAIN NA INDÚSTRIA 4.0 E PERSPECTIVAS PARA A  
INDÚSTRIA 5.0: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Wendley S. Silva

SOBRAL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M165e Magalhães, Expedito.  
O EMPREGO DA BLOCKCHAIN NA INDÚSTRIA 4.0 E PERSPECTIVAS PARA A INDÚSTRIA 5.0:  
UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO / Expedito Magalhães. – 2022.  
52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,  
Curso de Engenharia da Computação, Sobral, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Wendley S. Silva.

1. Blockchain. 2. Industria 4.0. 3. Internet das Coisas. 4. Industria 5.0. I. Título.

CDD 621.39

---

EXPEDITO RODRIGUES MAGALHÃES FILHO

O EMPREGO DA BLOCKCHAIN NA INDÚSTRIA 4.0 E PERSPECTIVAS PARA A  
INDÚSTRIA 5.0: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia da Computação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia da Computação.

Aprovada em: 12 de Dezembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Wendley S. Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Reuber Régis de Melo  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Thales Guimarães Marques  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, por acreditar e investir em mim.  
Aos meus irmãos, pelo cuidado e orientação, em  
alguns momentos, a esperança para seguir. Ao  
Felipe, sua presença significou segurança e cer-  
teza de que não estou sozinho nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Esta seção significa bastante para mim, pois me faz lembrar de todos os momentos bons que vivi desde 2015, e se resume a um único sentimento, gratidão!

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me guiar, durante toda essa jornada. Somente ele ouviu minhas preces durante os momentos difíceis, principalmente durante a pandemia, e somente ele sabe a gratidão que senti durante todos esses anos.

Aos meus pais, Jovelane “Jove” Vitalino e Expedito “Novo” Magalhães, por dedicarem todos os seus esforços a esta conquista, e que sempre estiveram ao meu lado. Essa graduação não é um sonho que realizei sozinho, mas sim, em conjunto a vocês. Agradeço também aos meus irmãos, Adilton “Rodrigo” Magalhães que me despertou o interesse na computação, desmontando os meus primeiros microcomputadores durante a infância e Anderson “Magalhães” Magalhães que mesmo estando em Dublin, sempre me motivou a continuar seguindo a carreira de tecnologia.

Ao meu namorado, Felipe Linhares, que tive o prazer de conhecê-lo no semestre de 2019.1, na disciplina Engenharia Econômica e Financeira, agradeço enormemente a todos os momentos que passamos juntos dentro e fora da UFC.

À instituição por proporcionar um curso de Engenharia da Computação no interior do estado do Ceará, e a todos os eventos, que estão ligados a mesma, de forma direta e indireta como Enconramus, Vinholada, Eurochestries e Encontros Universitários.

Aos meus professores e outros colaboradores da Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Sobral. Ao meu orientador, Dr. Wendley S. Silva por toda a assistência oferecida e me apresentar a tecnologia que me fez seguir carreira profissional, o IoT. Aos professores, Dr. Ialis Cavalcante, Me. Joseph Soares e Me. Jermana Lopes por fazerem eu me encontrar dentro da graduação a cada novo semestre matriculado. Além disso, a Michelle Fontenele, nossa secretária do curso, que sempre nos ajuda da melhor maneira possível, e nunca deixa os alunos desamparados e ao seu Antônio com o nosso Intracampus.

Aos professores da banca examinadora por dedicar seu tempo e atenção a este presente trabalho.

Aos amigos e colegas que se fizeram presente durante toda a jornada da graduação. Agradeço aos que estiveram presentes comigo desde o ensino médio, e sempre me apoiaram, Jean Matheus, Felipe Sales, Steffany Protásio e Guilherme Magalhães. À turma 2015.2 que estivemos lado a lado, rindo, sofrendo e partilhando conhecimentos juntos: Tallys, Hugo, Cadu, Higor

Cardoso, Carlos, Maxiela, Allison Nobre, Ângela, Pedro Henrique, Pedro Coelho, Lucas Lasso, Renan Cardoso, Milton, Lucas Santos, e em especial, a Kamila Farias e Maely Campos por todas as confidências e companheirismos que passamos juntos desde 2015. Aos outros colegas de turmas: Lucy, Thais, Hélio, Renan Galeno, Germana e todos os outros que não consegui lembrar agora.

Ao meu colega, Messias, por revisar diversas vezes este trabalho e ter paciência em explicar as diferenças entre as citações e normas ABNT.

Aos meus amigos do “Saídas Clássicas” que se fazem presentes hoje e me apoiam em decisões importantes: Fernando, Juninho, Evandro, Isaac, Henrique, Raul e Samuel.

Expresso meus agradecimentos também a Grendene S/A por ingressar-me dentro do mercado de trabalho, em especial a área de Melhoria Contínua e área de Dados Industriais por serem a minha maior referência de Indústria 4.0, e motivação para escrever o presente trabalho. Por fim, a todos os que se fizeram presentes de forma direta, ou indireta, para a concretização deste sonho. Grato!

“Cause you were born this way”

(Lady Gaga)



## RESUMO

Atualmente, o mundo passa pela quarta revolução industrial, conhecida com Indústria 4.0, pautada na *Internet of Things* / Internet das Coisas (*IoT*), robótica e automação. Nesse contexto, surge a tecnologia *Blockchain*, consistindo no registro de transações financeiras, de forma segura, utilizando-se de criptografia, se popularizando com o uso de moedas digitais em escala global. Nesse período a troca de informações é cada vez mais instantânea, aliando a tecnologias tais como o *big-data* ou a computação em nuvem. Desse modo, o objetivo principal do presente estudo é investigar o estado da arte a respeito da utilização do *Blockchain* na Indústria 4.0. Adicionalmente, como objetivos específicos: a) observar quais países mais pesquisam sobre a relação entre *Blockchain* e Indústria 4.0; b) mapear os estudos mais citados; c) analisar as associações do IoT com a perspectiva para a Indústria 5.0. Para isso faz-se uma pesquisa bibliométrica por meio de uma revisão sistemática realizada na plataforma *Web of Science*, na qual o termo *Blockchain* foi combinado com *industry 4.0* e *industry 5.0*. Os resultados evidenciam a recenticidade do tema na comunidade científica, com os primeiros estudos datando de 2018, além disso, há uma concentração de artigos na China e na Índia, ao passo que há uma predominância de metanálises.

**Palavras-chave:** Blockchain. Indústria 4.0. Internet das Coisas. Indústria 5.0

## ABSTRACT

Currently, the world is experiencing the fourth industrial revolution, known as Industry 4.0, based on the Internet of Things (IoT), robotics and auto-index automation. In this context, blockchain technology emerges, consisting of the recording of financial transactions, in a secure way, using cryptography, becoming popular with the use of digital currencies in a global school. During this period, the exchange of information is increasingly instantaneous, combining technologies such as big data or cloud computing. Thus, the main objective of the present study would be to investigate the state of the art regarding the use of Blockchain in Industry 4.0. Additionally, as specific objectives: a) observe which countries research the most about the relationship between Blockchain and Industry 4.0; b) map the most cited studies; c) analyze the associations of IoT with the perspective for Industry 5.0. For this, bibliographical research is carried out through a systematic review carried out on the Web of Science platform, in which the term blockchain was combined with industry 4.0 and industry 5.0. The results show the recentness of the subject in the scientific field, with the first studies dating from 2018, in addition there is a concentration of articles in China and India, while there is a predominance of meta-analyses.

**Keywords:** Blockchain. Industry 4.0. Internet of Things. Industry 5.0

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução industrial do ponto de vista temporal . . . . .	17
Figura 2 – Arquitetura IoT de 2 camadas . . . . .	25
Figura 3 – Arquitetura IoT de 3 camadas . . . . .	25
Figura 4 – Evolução da <i>Blockchain</i> . . . . .	29
Figura 5 – Arquitetura da <i>Blockchain</i> . . . . .	32
Figura 6 – Diferentes tipos de rede na arquitetura da <i>Blockchain</i> . . . . .	33
Figura 7 – Exemplificação de transação Bitcoin (BTC). . . . .	38
Figura 8 – Etapas da Revisão Bibliográfica. . . . .	39
Figura 9 – Quantidade de publicações sobre o tema <i>Blockchain</i> por ano. . . . .	42
Figura 10 – Produção científica por país. . . . .	43
Figura 11 – Principais considerações a partir de cada autor estudado. . . . .	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem de usuários utilizando o protocolo HTTP. . . . .	27
Tabela 2 – Resultado da busca na base de dados. . . . .	40
Tabela 3 – Artigos mais citados sobre o tema . . . . .	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>3G</i>	<i>Third Generation</i> / Terceira Geração de Redes Móveis
<i>4G</i>	<i>Fourth Generation</i> / Quarta Geração de Redes Móveis
<i>6G</i>	<i>Sixty Generation</i> / Sexta Geração de Redes Móveis
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i> / Interface de Programação de Aplicativos
<i>CoAP</i>	<i>Constrained Application Protocol</i> / Protocolo de Aplicação Restrita
<i>HTTP</i>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> / Protocolo de Transferência de Hipertexto
<i>ID</i>	<i>Identity</i> / Identidade
<i>IIoT</i>	<i>Industrial Internet of Things</i> / Internet das Coisas Industrial
<i>IoE</i>	<i>Internet of Everything</i> / Internet de todas as Coisas
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i> / Internet das Coisas
<i>M2M</i>	<i>Machine-to-Machine</i> / Máquina-para-Máquina
<i>MQTT</i>	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> / Transporte de Mensagens Telemétricas
<i>NFC</i>	<i>Near Field Communication</i> / Comunicação de Campo Próximo
<i>P2P</i>	<i>Peer-to-Peer</i> / Ponto a Ponto
<i>PCC</i>	<i>Production Control Center</i> / Controle Central de Produção
<i>PoW</i>	<i>Proof-of-Work</i> / Prova de Trabalho
<i>QoS</i>	<i>Quality of Service</i> / Qualidade de Serviço
<i>REST</i>	<i>Representation State Transfer</i> / Transferência de Estado Representacional
<i>SDK</i>	<i>Software Development Kit</i> / Kit de Desenvolvimento de Software
<i>SHA-256</i>	<i>Security Hash Algorithm</i> / Funções Hash Criptográficas
<i>TCP/IP</i>	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> / Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet
<i>TLS</i>	<i>Transport Layer Security</i> / Segurança de Camada de Transporte
<i>TPS</i>	<i>Toyota Production System</i> / Sistema de Produção Toyota
<i>USB</i>	<i>Universal Serial Bus</i> / Porta Serial Universal
<i>VPN</i>	<i>Virtual Private Network</i> / Rede Privada Virtual
<i>Wi-Fi</i>	<i>Wireless Fidelity</i> / Fidelidade sem Fio
<i>BTC</i>	Bitcoin
<i>COVID-19</i>	SARS-Cov-2
<i>DLT</i>	<i>Distributed Ledger Technology</i> / Tecnologia de Registro Distribuído
<i>ETS</i>	<i>Emissions Trading System</i> / Sistema de Comércio de Emissões

IBM	International Business Machines
QUIC	<i>Quick UDP Internet Protocol</i> / Protocolo Rápido de Internet UDP
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
ROI	Retorno de Capital Empregado
TAM	<i>Technology Acceptance Model</i> / Modelo de Aceitação de Tecnologia
TPB	<i>Theory of Planned Behavior</i> / Teoria do Comportamento Planejado
TRI	<i>Technology Readiness Index</i> / Índice de Prontidão Tecnológica
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> / Protocolo de Datagramas do Usuário
UX	User Experience

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1</b>	<i>Objetivos gerais</i>	<b>15</b>
<b>1.1.2</b>	<i>Objetivos específicos</i>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Indústria 4.0</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	<i>Primeira Revolução Industrial</i>	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<i>Segunda Revolução Industrial</i>	<b>18</b>
<b>2.1.3</b>	<i>Terceira Revolução Industrial</i>	<b>19</b>
<b>2.1.4</b>	<i>Quarta Revolução Industrial</i>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Indústria 5.0</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>IoT</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Arquitetura da IoT</i>	<b>24</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Protocolos IoT</i>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Blockchain</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Arquitetura da Blockchain</i>	<b>32</b>
<b>2.4.2</b>	<i>O Bitcoin dentro da Blockchain</i>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Etapas da Revisão</b>	<b>39</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Entrada</i>	<b>40</b>
<b>3.1.2</b>	<i>Processamento</i>	<b>41</b>
<b>3.1.3</b>	<i>Saída</i>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<i>O Blockchain na Indústria 4.0 e 5.0 em números</i>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<i>Considerações sobre os artigos encontrados</i>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>50</b>

# 1 INTRODUÇÃO

TESTES (SILVA, 2017), (PISCHING, 2017), Pisching (2017), (SOARES *et al.*, 2020)

A tecnologia *Blockchain* consiste em um livro contábil (razão pública) que registra transações financeiras de moedas virtuais, de forma segura e imutável. Na última década, essa tecnologia ganhou notoriedade, sobretudo devido à popularização das criptomoedas em escala mundial, exigindo uma maior segurança por meio de codificações, para que os usuários realizem pagamentos de forma rápida e segura (RODRIGUES; YOSHINO, 2021). Não obstante, essa tecnologia utiliza conceitos muito semelhantes ao *Machine-to-Machine / Máquina-para-Máquina (M2M)*, muito utilizado no *IoT*, ao qual uma máquina pode se comunicar com outra.

O advento da *IoT* permitiu a troca de informações em tempo real, sendo aliada a outras tecnologias para elevar a competitividade da indústria, tais como *big-data* e computação em nuvem (SANTOS *et al.*, 2018). Nesse sentido, a popularização dessas tecnologias é uma reação às necessidades das organizações e pessoas frente a um mundo globalizado, em que a informação é um ativo estratégico para as entidades. Desse modo, o uso do *Blockchain* no contexto da *IoT* passou a ser bastante discutido em âmbito acadêmico e empresarial.

A *IoT* com a robótica e a tenuousidade entre sistemas físicos e cibernéticos são as molas propulsoras da chamada Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, que sucede as três primeiras dando ênfase na inteligência artificial, tendo início na década de 2010 (COELHO, 2016). No entanto, percebe-se que as revoluções estão cada vez mais rápidas e, dessa forma, já há uma expectativa para a Indústria 5.0, considerando uma relação mais próxima entre homem e máquina e uma busca mais forte pela personalização de produtos e serviços por parte dos consumidores. Diante desse contexto, desenvolve-se a seguinte questão de pesquisa: Qual o estado da arte sobre o uso de *Blockchain* na Indústria 4.0?

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivos gerais

Nesse aspecto, o presente artigo tem por objetivo geral investigar o estado da arte a respeito da utilização do *Blockchain* na Indústria 4.0.



### 1.1.2 *Objetivos específicos*

Adicionalmente, tem-se como objetivos específicos:

- Observar quais países mais pesquisam sobre a relação entre *Blockchain* e Indústria 4.0;
- Mapear os estudos mais citados;
- Analisar as associações do IoT com a perspectiva para a Indústria 5.0;

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliométrica utilizando a plataforma Web of Science.

## 1.2 **Justificativa**

A Indústria 4.0 seria uma atualização no modo de produzir, comercializar e organizar produtos, serviços e informações recentes que está proporcionando maior velocidade e mudanças no contexto socioeconômico em escala mundial. Nesse sentido, o *Blockchain* se configura como uma tecnologia alinhada a esse novo momento, que se popularizou e embasa um grande número de transações financeiras atualmente. Desse modo, o estudo é importante ao avaliar o estado da arte atual sobre o assunto.

A análise traz contribuições à medida que permite estudar quais aspectos da tecnologia estão sendo mais discutidos, permitindo uma visão holística sobre o uso do *Blockchain* na Indústria 4.0. Além disso, a pesquisa mapeia e avalia a produtividade das pesquisas sobre o tema, considerando, autores, universidades e divisões regionais, auxiliando na identificação de tendências de pesquisa, traçando um perfil de interesse.

O estudo inicia com uma seção introdutória que aqui se encerra, onde foram apresentadas a contextualização, questão de pesquisa, objetivos e justificativa. Em seguida, tem-se o referencial teórico, em que são discutidas os conceitos de Indústria 4.0, Indústria 5.0, *Internet of Things* e *Blockchain*. Logo após, apresenta-se a metodologia da pesquisa evidenciando o caráter descritivo, qualitativa e como a revisão bibliométrica foi realizada. A seção seguinte mostra os resultados da pesquisa e as discussões provenientes desses. Por fim, tem-se conclusão e a apresentação do referencial bibliográfico.

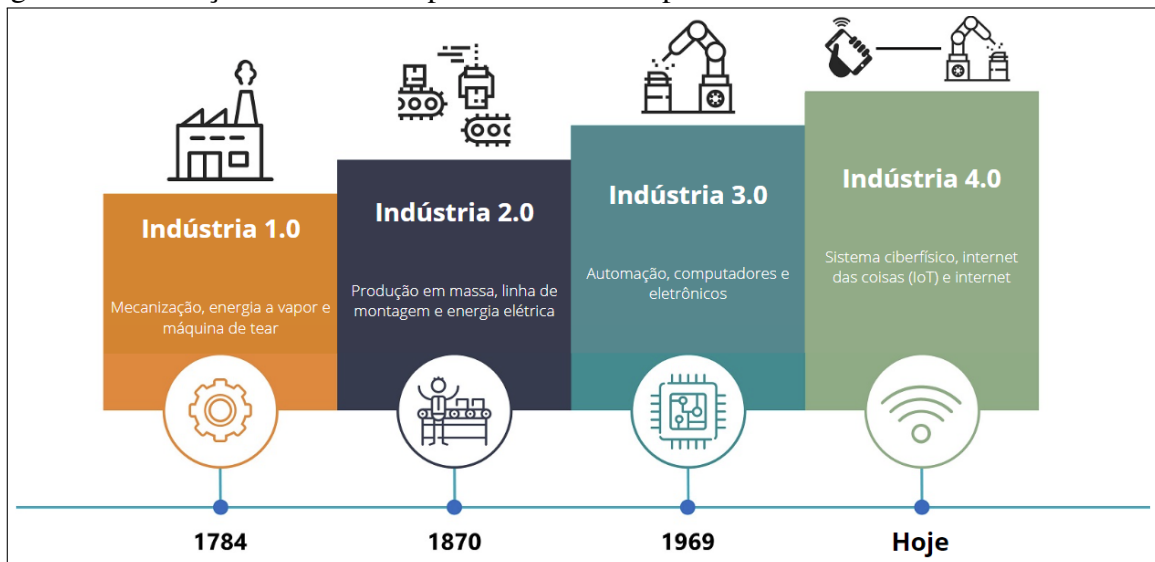
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos essenciais para a compreensão do presente Trabalho de Conclusão de Curso, assim como apresentam a literatura que irá sustentar a base teórica descrita na Introdução. Na seção 2.1 é evidenciado a evolução da indústria até chegarmos a atual Indústria 4.0. Na seção 2.2 mostra o conceito e a perspectiva de futuro da Indústria 5.0. Na seção 2.3 é apresentado o conceito de IoT e sua importância dentro da Indústria 4.0. Por fim, mas não menos importante, a seção 2.4 é introduzido o conceito de *Blockchain* interligando com o conceito de Indústria 4.0.

### 2.1 Indústria 4.0

A indústria, ao longo dos anos, passou por diversas transformações, seguindo sempre as tendências tecnológicas que eram descobertas em cada época. Na Figura 1, podemos ver as principais novidades que houveram ao longo de sua evolução, como também, o período na história. Neste tópico, será detalhado cada uma das 3 etapas precedentemente a Indústria 4.0, e também, a contextualização do cenário da indústria brasileira.

Figura 1 – Evolução industrial do ponto de vista temporal



Fonte: Trunovate (2019)

Nesse contexto, observa-se que as revoluções industriais tendem a ser cada vez mais rápidas. Por exemplo, a diferença de tempo entre a Indústria 1.0 e 2.0 foi de quase um século, já a da Indústria 3.0 para a 4.0, foi de menos de meio século. Isso reflete um ambiente cada vez mais volátil, incerto, complexo e ambíguo.

### ***2.1.1 Primeira Revolução Industrial***

A Primeira Revolução Industrial ocorreu no século XVIII, inicialmente na Europa. Foi nessa época que surgiram as máquinas de tear mecânico, como também, as primeiras máquinas a vapor que serviram fortemente para o início da próxima revolução industrial. A principal característica desta época era a manutenção essencialmente corretiva (limpeza, lubrificação após falhas), vale ressaltar ainda, que a produtividade era prioritária e os equipamentos eram simples e possuíam um sobredimensionamento (BORLIDO, 2017).

Anteriormente, o artesão tinha o controle total da produção, desde a exploração da matéria-prima até à comercialização do produto final, porém entre 1760 e 1840 na Inglaterra – houve o surgimento da exploração do carvão, substituindo a madeira e outros biocombustíveis – passou a trabalhar para um patrão que possuía as máquinas, ferramentas, controlava a matéria-prima, a produção e os lucros (COELHO, 2016).

### ***2.1.2 Segunda Revolução Industrial***

A Segunda Revolução Industrial ocorreu entre 1860 a 1900, diferente da primeira fase, países como Alemanha, França, Rússia e Itália também entraram nessa nova era. Destaca-se o grande uso do aço, da energia elétrica e, também, dos combustíveis fósseis, derivados do petróleo. Vale ressaltar também as grandes invenções que surgiram nessa época, como o motor a explosão, a locomotiva a vapor e os primeiros produtos químicos. Não obstante, os primeiros navios de aço que revolucionaram o transporte de mercadorias surgiram, e possibilitaram as invenções e inovações caminharem juntas nesta época (COELHO, 2016).

Nesta segunda revolução, no século XIX, a indústria atual era conhecida como pré-4.0, ou seja, o método de produção era baseado nos conceitos de Henry Ford (ou Fordismo), logo a produção em massa de baixo custo surgia, que também foi usada nas eras seguintes até hoje. Nessa época, foi uma grande descoberta para todo o setor industrial, pois fatores como pós-guerra, escassez de recursos e a alta procura dos mesmos, fariam qualquer indústria quebrar, porém, a Ford estava o mais rápido possível com um alto nível de produtividade e vendas, tirando bom aproveitamento do funcionamento das máquinas (BORLIDO, 2017).

### **2.1.3 Terceira Revolução Industrial**

Nas décadas de 1950 e 1970 iniciou-se um movimento chamado Toyotismo, encabeçado pelo japonês Taiichi Ohno, que mais tarde foi considerado como parte da Terceira Revolução Industrial. Taiichi Ohno deu um passo além da produção em massa criada por Henry Ford, pois o antigo modelo de produção apenas produzia uma mesma peça em larga escala, já que ele propôs seria produzir somente o necessário, na quantidade necessária, chamado sistema *Just Time* (Hora exata). Nesse contexto, a implantação de um sistema de qualidade total buscando evitar o desperdício de matéria-prima e tempo, como também, o uso de pesquisas de mercado, aliado a tecnologia, para se adaptar as exigências dos clientes, usando um sistema flexível de mecanização que se modelava conforme a necessidade dos mesmos (WOMACK; JONES, 2004).

Alguns avanços descobertos nessa época (século XX e XXI), segundo os historiadores, são considerados parte da terceira etapa da revolução industrial, tais como o computador, o fax, a engenharia genética e o celular. Nas décadas de 1950 a 1970, começou-se a desenhar o início da nova revolução industrial, tendo o Japão como um dos principais países inspiradores, além disso, estourou a revolução digital, na qual, houve uma proliferação e uso dos semicondutores, informática, automação e robotização nas linhas de produção. Vale ratificar o surgimento do uso das informações armazenadas e processadas de forma digital, tais como, as comunicações, os telefones móveis e a internet (COELHO, 2016).

Vale destacar também que na década de 70, essa revolução se manifestou através da eletrônica e das tecnologias de investigação (sistema de informação) e, junto a necessidade de reduzir o máximo o tempo, as pessoas e a improdutividade, desse último, nasceu a manutenção preditiva, uma das principais características dessa era (BORLIDO, 2017).

### **2.1.4 Quarta Revolução Industrial**

Atualmente, a maioria das fábricas portuguesas e mundiais utilizam o modelo *Toyota Production System* / Sistema de Produção Toyota (*TPS*) que apresentam avanços na gestão de produção e organização da empresa. Nesse aspecto, a comunicação entre os setores como qualidade e produção, assim como, logística e o chão de fábrica são feitas diariamente durante as reuniões do *Production Control Center* / Controle Central de Produção (*PCC*), porém se houvesse um modo dessa comunicação se tornar mais estreita a fim de que todos esses setores pudessem trocar informações em tempo real, a indústria se tornaria mais produtiva (BORLIDO,

2017).

A Indústria 4.0 traz consigo justamente essa vantagem, pois a Quarta Revolução Industrial nasceu dessa necessidade de obter uma comunicação mais próxima, e em tempo real, pois diferente das evoluções anteriores, agora as máquinas podem tomar as próprias decisões baseado no fluxo de produção, e os operadores dispõem dos acontecimentos que há nos outros setores em tempo real. Os princípios da Indústria 4.0 definem os sistemas de produção inteligentes, com capacidade de operação em tempo real, ou seja, consistem na aquisição e tratamento de dados de forma instantânea, permitindo a tomada de decisões, correções imediatas em caso de alterações das necessidades do cliente. Já a manufatura inteligente, as máquinas inteligentes vão se adequar automaticamente ao processo e tomadas de decisões, diminuindo o desperdício e aumentando o uso eficiente de energia (COELHO, 2016).

A Quarta Revolução Industrial é desacreditada por muitos teóricos, pois os conceitos de inovação tecnológica, metodológica e organizacional foi descoberta durante a revolução anterior. Porém, para Schwab (2019), no seu Livro “*The Fourth Industrial Revolution*”, houveram 3 pontos que esta revolução se difere das outras três anteriores, os quais são:

- **Velocidade:** Pois diferentes das que ocorreram anteriormente, esta possui um ritmo exponencial e não linear. Nesse aspecto, ele fala que é o resultado do mundo multifacetado e profundamente interconectado. Vale ressaltar que as novas tecnologias, atualmente, geram outras novas tecnologias.
- **Amplitude e profundidade:** Ou seja, tendo como base a revolução digital e a combinação de várias tecnologias resultam mudanças nos paradigmas sem precedentes em outras áreas, como economia, negócios, sociedade e indivíduos. O autor salienta que esta revolução não está modificando apenas o “o que” e o “como” fazemos as coisas, mas também “quem” somos.
- **Impacto sistêmico:** Total transformações nos sistemas entre países, assim como, em empresas, indústrias, e sociedade, dentro dos mesmos.

Vale salientar que se acredita que a Quarta Revolução Industrial iniciou-se na virada para o século XXI, é caracterizada por uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizagem automática, ou aprendizado de máquina (SCHWAB, 2019).

No Brasil, a indústria 4.0 possui um longo caminho a percorrer, no trabalho realizado por Pacchini *et al.* (2020) em “*Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira*”,

os autores realizaram entrevistas com algumas montadoras brasileira de automóveis e seus respectivos fornecedores. Na qual, levantaram os seguintes problemas que o território nacional enfrenta:

- **Ataques cibernéticos:** O uso de *smartphones* e *tablets* conectados a rede, tornam-se portas de entrada para o aumento da vulnerabilidade a ataques cibernéticos;
- **Fornecimento energético:** O risco de ficar períodos sem energia elétrica é uma realidade que algumas indústrias enfrentam, podendo pôr em risco todo o sistema de interoperabilidade, devido ao baixo orçamento em infraestrutura no país;
- **Estruturas precárias dos fornecedores:** Fornecedores não conseguem acompanhar a evolução das indústrias, pois não há um investimento em novas tecnologias, conseqüentemente, podendo causar um deficit na cadeia de suprimentos;
- **Operações manuais:** Muito dos trabalhos realizados dentro das indústrias brasileiras ainda são manuais, dificultando a implementação de muitas tecnologias da Indústria 4.0;
- **Protocolo de comunicação:** A falta de uniformidade de comunicação entre os protocolos que são utilizados entre as máquinas e os sensores é um grande obstáculos que muitas indústrias enfrentam, principalmente, quando possuem máquinas com mais de duas décadas de idade. Além disso, há a ausência de uma padronização desses protocolos, entre os fabricantes de equipamento, pois todos almejam que seu protocolo prevaleça. Como também, existe uma necessidade de aproveitamentos dos equipamentos antigos frente as novas tecnologias, pois é uma realidade que muitas empresas enfrentam e que nem todas estão dispostas a fazerem esse investimento. Por fim, há empresas que já possuem equipamentos inseridos nos meios digitais, entretanto, enfrentam uma divergência na integração com outros equipamentos não digitais;
- **Baixa escolaridade da mão de obra:** A baixa formação de engenheiros e técnicos ainda é agravante, em relação a outros países, existe uma mão de obra pouco capacitada tendo que operar equipamentos com as altas tecnologias. Além disso, o meio acadêmico para a formação de novos profissionais não foi totalmente adaptada a esta nova realidade, na qual, novas profissões surgirão nos próximos anos e não há profissionais aptos para ingressarem neste desafio;
- **Baixo investimento em tecnologia nacional:** Há uma diminuição dos preços de alguns produtos no mercado brasileiro, sensores, por exemplo, porém grande parte dos componentes desses equipamentos precisam ser importados havendo um alto valor agregado;

- **Instabilidade econômica:** A inconstância no mercado brasileiro de *commodities*, as empresas ficam inseguras em fazer investimentos a longo prazo. Além disso, o Retorno de Capital Empregado (ROI) é de longo prazo, dado a realidade econômica do país, não agrada os investidores para a implementação da Indústria 4.0;
- **Desemprego:** Conforme as novas tecnologias são implementadas, provocam a dispensa da mão de obra operacional com pouca ou baixa escolaridade;

## 2.2 Indústria 5.0

A Indústria 5.0 ou Quinta Revolução Industrial foi apresentada o conceito, pela primeira vez, em 2015, na qual, se difere da última revolução industrial com a exigência por produtos mais personalizados, onde temos um mercado cuja população deseja expressar cada vez mais sua individualidade, a partir dos produtos que são usados (MAESTRI *et al.*, 2021).

Diante disso, neste cenário, a Indústria 5.0 torna o relacionamento entre homem e máquina mais próximo, a ponto de um depender do outro para o pleno funcionamento fabril, como também, há uma maior preocupação com o desenvolvimento sustentável. A seguir estão os 3 artigos mais citados sobre Indústria 5.0, na qual, defendem essa relação entre máquinas, humanos e sustentabilidade. Para os autores Özdemir e Hekim (2018) em “*Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, ‘the internet of things’ and next generation technology policy*”, faz-se necessário a construção de redes digitais mais complexas e superconectadas, na qual, não comprometa a segurança e a sustentabilidade a longo prazo, de um ecossistema de inovações e seus constituintes. Já Nahavandi (2019), em “*Industry 5.0—A human-centric solution*”, acredita que tantos os robôs quanto os cérebros humanos estarão trabalhando juntos como colaboradores, ao invés de concorrentes. Vale ressaltar que Longo *et al.* (2020) acredita, no que ele chama de “era do incremento”, onde temos uma maior aproximação da relação entre humanos e máquinas, estarão trabalhando e colaborando em simbiose total.

Além das tecnologias que são os pilares da Indústria 4.0, nesta nova revolução há uma grande tendência a tecnologias facilitadoras, como o *Edge Computing*, *Digital Twins*, *Internet of Everything / Internet de todas as Coisas (IoE)*, *Big Data Analytics*, *Cobots*, *Sixty Generation / Sexta Geração de Redes Móveis (6G)* e *Blockchain*, todas essas tecnologias conectadas apresentam habilidades cognitivas e aspectos de inovação para realizar entregas mais rapidamente e produtos personalizados (PEREIRA; SANTOS, 2012)

Além disso, a virtualização tornou-se um importante papel dentro desta nova revolu-

ção, pois contribui positivamente para situações inesperadas, como a pandemia SARS-Cov-2 (COVID-19), que teve início na Cidade de Wuhan, China, foi responsável pela morte de mais de 6,5 milhões e 616 milhões de contágios, confirmados até setembro de 2022 (RITCHIE *et al.*, 2020). Situações como essa, teve um impacto não apenas na saúde humana, como também, toda a cadeia industrial mundial. Diante desse caso, toda a atividade econômica em determinados segmentos teve que ser paralisadas completamente, havendo um grande impacto econômico e, conseqüentemente, um declínio industrial (MAESTRI *et al.*, 2021). Por isso, atividades como o trabalho em *home office* auxiliados com dispositivos em IoT tornam possível o remanejamento de atividades industriais remotamente, logo, o planejamento e acompanhamento (MAESTRI *et al.*, 2021).

### 2.3 IoT

O intercâmbio de informações em tempo real só foi possível graças ao advento da IoT, atualmente, os dispositivos considerados “não inteligentes” são conectados com esta tecnologia (SANTOS *et al.*, 2018). Na indústria não diferiu, aliadas a outras tecnologias, como o *Big Data* e *Cloud-computing*, faz-se possível a realização da coleta de dados, armazenagem e avaliação de diversas fontes, podendo, em alguns casos, tomar decisões, otimizar operações e economizar energia, além de melhorar o desempenho de sistemas (SANTOS *et al.*, 2018). Vale ressaltar que isso pode ser realizado remotamente de qualquer lugar, onde houver uma conexão com internet.

Nesse sentido, toda aplicação em IoT necessita-se de três componentes combinados: dispositivos, sistema de controle e redes de comunicação. Cada eletrônico, possui um sistema embarcado, ou seja, chips, sensores, antenas, entre outros que irão fornecer a comunicação e controle. Logo, as redes que irão fornecer essa comunicação entre os dispositivos são as tecnologias já conhecidas como *Wireless Fidelity* / Fidelidade sem Fio (*Wi-Fi*), *Near Field Communication* / Comunicação de Campo Próximo (*NFC*), como também, redes móveis como *Third Generation* / Terceira Geração de Redes Móveis (*3G*) e *Fourth Generation* / Quarta Geração de Redes Móveis (*4G*) e *Bluetooth* (BOTÊLHO, 2018). A potencialidade da tecnologia de IoT é alta, podendo ser aplicada em diferentes áreas como hospitais, agropecuária, fábricas, serviços públicos, logística, transportes públicos, comércios entre outros. Podendo ser visto desde uma simples *tag* para localização de ônibus a sistemas mais complexos como o monitoramento de um paciente cardíaco (BOTÊLHO, 2018).



Desse modo, o IoT possui um grande desafio dentro da Indústria, pois o custo de atingir a interoperabilidade dos dispositivos exigem uma capacidade computacional ou de comunicação muito elevada. Diante disso, em uma rede industrial podem haver os mais diversos tipos de dispositivos que podem se comunicar por uma rede *Ethernet*, o meio para essa comunicação é feita por sinais digitais, ou seja, protocolos de comunicação, que em muito dos casos são divergentes entre si, podendo causar conflitos (SILVA, 2019).

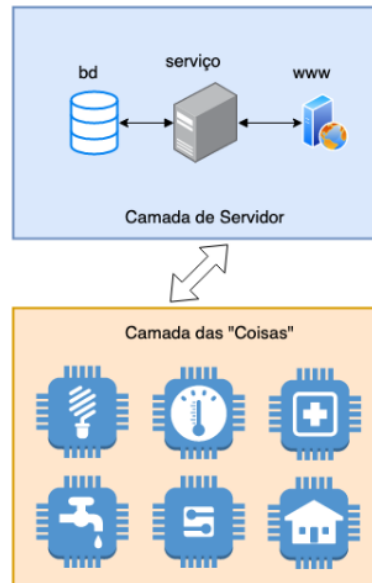
Vale salientar que privacidade e segurança são assuntos que não devem ser negligenciados dentro do IoT, quando se trata de criptografia os métodos são insuficientes, podendo causar sérios problemas para o crescimento desta tecnologia (LIANG; JI, 2021). Diante disso, sistemas de *Blockchain* são cada vez mais procurados por universidades e indústrias para realização de segurança dos seus aplicativos. Além de contar com sua modernidade, é quisto, principalmente por atuar em 6 frentes: imutável, descentralizado, autônomo, transparente, anônimo e código aberto. Nesse contexto, questões como integridade, confidencialidade, autorização, autenticação, verificação, confiança, armazenamento e manutenção das aplicações em tempo real são as possibilidades que o *Blockchain* atua dentro do IoT (LIANG; JI, 2021).

### 2.3.1 *Arquitetura da IoT*

A arquitetura IoT é baseada em como será a comunicação entre os dispositivos, então deve-se considerar dois pontos relevantes para a construção dessa arquitetura: a quantidade de dispositivos que serão conectados, como também, a sua heterogeneidade (SILVA, 2019). Essas arquiteturas são divididas em camadas, nas quais, cada camada possui sua particularidade, como também, são utilizadas segundo o seu propósito. Nesse sentido, serão apresentadas as arquiteturas de 2 e 3 camadas respectivamente.

**Arquitetura de 2 camadas:** É a arquitetura mais utilizada, pois traz um suporte menor a quantidade de dispositivos conectados, porém, não possui garantias para sua heterogeneidade, pois os dispositivos precisam estar conectados diretamente a um servidor (SILVA, 2019). Neste tipo de arquitetura, ilustrada na Figura 2, é disposta a camada do servidor, na qual está envolvido o banco de dados, o serviço e a rede, fazendo-se necessária uma comunicação com a camada das “coisas”, onde temos os objetos. Essa conexão entre servidor e dispositivos é realizada por meio de cabos (*Universal Serial Bus / Porta Serial Universal (USB)* ou *Ethernet*) ou Wi-Fi, porém, nesse tipo de arquitetura, a quantidade de dispositivos e interfaces de comunicação são bastante limitadas.

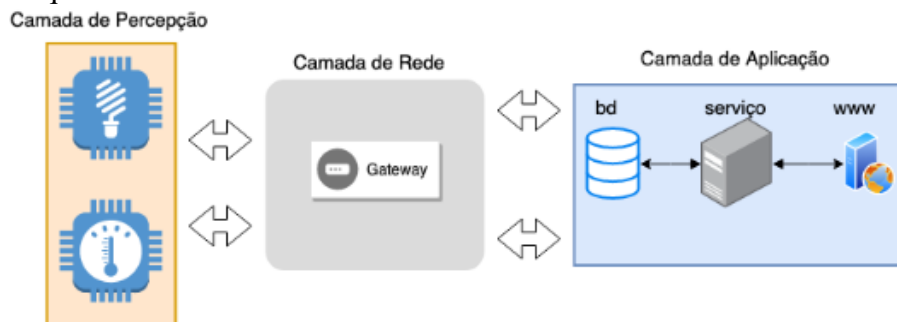
Figura 2 – Arquitetura IoT de 2 camadas



Fonte: Silva (2019)

**Arquitetura de 3 camadas:** É utilizada para garantir a heterogeneidade e o escalonamento horizontal dos dispositivos conectados. Nesse sentido, os dispositivos se conectam apenas a um *gateway* e esses *gateways* fazem a comunicação diretamente ao servidor (SILVA, 2019). Neste tipo de arquitetura, ilustrada na Figura 3, é adicionada a camada de rede com o *gateway* entre a camada de percepção ou camada das “coisas” e a camada de aplicação ou servidor.

Figura 3 – Arquitetura IoT de 3 camadas



Fonte: Silva (2019)

- Camada de percepção: Visa a identificação dos objetos e coletar as informações, é composta por sensores e outros objetos físicos, e captam informações como direção ou movimento, temperatura, localização, etc. (SILVA, 2019)
- Camada de rede: Conhecida também como camada de transmissão, procura processar e transmitir as informações recebidas da camada anterior, podendo utilizar conexões com ou sem fio, como, por exemplo, Wi-Fi, 3G, 4G, infravermelho, *Bluetooth*,

*ZigBee* e outros. Além disso, como o *gateway* normalmente é um computador, então ela é possível operar em todas as cinco camadas da arquitetura *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* / Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo da Internet (*TCP/IP*), responsável por interconectar ambas as redes (SILVA, 2019).

- Camada de aplicação: Faz o gerenciamento geral do aplicativo, tem como base as informações tratadas da camada anterior, podendo ser aplicadas em diversas áreas como indústria, agricultura, casa, cidade e outros (SILVA, 2019).

### 2.3.2 Protocolos IoT

Algumas das principais características dos protocolos de IoT é o seu baixo consumo de energia elétrica, baixa largura de rede, alta latência de rede e pouco recurso de processamento e memória (CRUZ *et al.*, 2021). Diante disso, os protocolos IoT são responsáveis por fazer a comunicação entre dispositivos, sensores, *gateway* e a camada de aplicação, como também, fazem a gestão das regras que controlam as comunicações de dados (SILVA, 2019). Existem três protocolos que são mais utilizados dentro da IoT: o *Hypertext Transfer Protocol* / Protocolo de Transferência de Hipertexto (*HTTP*), o *Message Queuing Telemetry Transport* / Transporte de Mensagens Telemétricas (*MQTT*) e o *Constrained Application Protocol* / Protocolo de Aplicação Restrita (*CoAP*).

**HTTP:** Desde os anos 90, é o protocolo mais utilizado na internet. A versão 0.9 era utilizada somente para a transferência de dados na internet. Na versão 1.0, foi possível transferir mensagens com cabeçalhos que mostram o conteúdo da mensagem usando uma codificação (SILVA, 2019). Já a versão 1.1 trouxe a reutilização do TCP com o *keep-alives*, onde uma nova requisição de informação só pode ser solicitada após a anterior ter sido concluída. Na versão 2.0 foi introduzida o conceito de fluxos bidirecionais entre servidor e cliente, possibilitando o cliente com uma única conexão multiplexar várias solicitações/respostas HTTP simultaneamente (LOVELL, 2021). A Tabela 1 ilustra a porcentagem de usuários que utilizavam os protocolos HTTPs em 2021. Atualmente, existe a versão 3, na qual todo o protocolo é modificado, a principal diferença com a versão anterior é a mudança do protocolo TCP para um protocolo de transporte *User Datagram Protocol* / Protocolo de Datagramas do Usuário (UDP) chamado *Quick UDP Internet Protocol* / Protocolo Rápido de Internet UDP (QUIC), pois permite avanços mais rápidos em HTTP sem esperar por implementações novas de TCP que estão enraizadas em toda a *Internet*, o QUIC é

semelhante ao TCP de várias maneiras e basicamente reconstrói os recursos do TCP e adiciona recursos de criptografia através de um transporte mais leve por meio do protocolo UDP (LOVELL, 2021).

Tabela 1 – Porcentagem de usuários utilizando o protocolo HTTP.

Protocolo	Computador/ <i>Notebook</i>	Móvel
HTTP/0.9	0,00%	0,00%
HTTP/1.0	0,00%	0,00%
HTTP/1.1	25,8%	26,5%
HTTP/2+	72,9%	73,2%
Desconhecido	1,3%	0,3%

Fonte: Lovell (2021)

**MQTT:** É considerado um protocolo extremamente simples e leve, sendo projetado para dispositivos de redes de baixa largura de banda, alta latência ou não confiáveis. Além disso, realiza comunicação utilizando o protocolo TCP, e sua segurança é através de senhas colocadas pelo usuário, ou por *Transport Layer Security* / Segurança de Camada de Transporte (*TLS*) (SILVA, 2019).

**CoAP:** É baseado na arquitetura *Representation State Transfer* / Transferência de Estado Representacional (*REST*) sido criado para a substituição dos protocolos mais antigos, funcionando basicamente como o HTTP. O intuito do CoAP é manter os dispositivos funcionando por um longo período, consumindo o mínimo de energia necessária (SILVA, 2019).

Cada protocolo possui sua particularidade, o MQTT é preferível por oferecer uma melhor *Quality of Service* / Qualidade de Serviço (*QoS*). Já o CoAP possui outras vantagens, e é preferível por sua capacidade de reunir dados de telemetria de nós transientes e de baixa potência. Ambos protocolos são fundamentais para a implantação de dispositivos IoT ou *Industrial Internet of Things* / Internet das Coisas Industrial (*IIoT*), pois garantem uma troca de dados flexível e rápida (SILVA, 2019).

## 2.4 Blockchain

A *Blockchain* surgiu praticamente com o advento das moedas virtuais, ou criptomoe-das, na qual, viu-se a necessidade dos usuários realizarem trocas monetárias virtuais de modo seguro por codificações (RODRIGUES; YOSHINO, 2021). O modelo de blocos foi criado em 2008 por Satoshi Nakamoto e, então, implementado em 2009, oferecendo o armazenamento das

transações confirmadas em um sistema de cadeia de blocos (RODRIGUES; YOSHINO, 2021).

Diante disso, a *Blockchain* foi construída a partir do conceito que uma máquina se comunica diretamente com outra máquina para realizar uma validação dentro da rede, e partir disso, criar mercados descentralizados eletrônicos (RODRIGUES; YOSHINO, 2021). Vale destacar que esse conceito trouxe algumas vantagens como:

- Maior velocidade das transações financeiras e tráfego dos dados;
- Aumento da segurança dos dados compartilhados;
- Redução do número de pessoas intermediárias durante as transações financeiras;
- Validação através de contratos inteligentes e ativos digitalizados

Nesse sentido, a *Blockchain* utiliza o conceito conhecido como *Proof-of-Work / Prova de Trabalho (PoW)* – é o algoritmo mais utilizado, principalmente na *Blockchain* que envolve moedas digitais, pois como estão envolvidas em uma rede assíncrona, esse algoritmo consiste em basicamente resolver, de forma computacional, problemas complexos matemáticos (SILVA *et al.*, 2021) – durante as transações na rede. Segundo Pinto *et al.* (2021), existe um protocolo criptográfico no qual exige uma quantidade mínima de membros, podendo variar de acordo com a tecnologia empregada, para a validação dos dados que estão passando por transações naquele momento. Caso o esforço computacional despendido e o consenso sejam alcançados, os membros dessa rede validam os dados da transação, garantindo sua confiabilidade. Nesse aspecto, uma rede *Blockchain* pode ser caracterizada como pública ou privada. Caso um usuário deseje fazer parte da rede pública, ela não exige nenhum tipo de autenticação, permitindo qualquer usuário ingressar e realizar transações. Entretanto, em uma rede privada, somente os usuários que possuem autorização é que podem ingressar na rede e, conseqüentemente, realizar suas transações.

Desse modo, o modelo de rede privada é muito empregado em empresas que almejam um alto nível de governança sobre sua rede, incluindo a indústria. Por isso, o *Hyperledger* é uma iniciativa colaborativa de código aberto que pertence a *Linux Foundation* que tem como objetivo desenvolver tecnologias baseada em *Blockchain* para a indústria (REBELLO *et al.*, 2019). Dentre os vários projetos que pertencem à iniciativa *Hyperledger*, o *Hyperledger Fabric* possui o maior destaque, pois é uma plataforma desenvolvida pela International Business Machines (IBM), e tem como proposta a implementação de redes permissionadas baseada em *Blockchain*. Segundo (REBELLO *et al.*, 2019), ele afirma que:

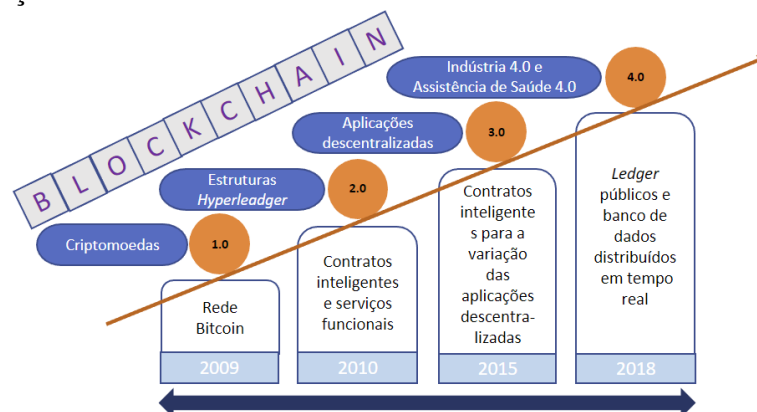
O *Hyperledger Fabric* é o projeto mais maduro da iniciativa *Hyperledger* e o mais utilizado por empresas que desenvolvem aplicações privadas baseadas

em corrente de blocos. A arquitetura modular e plugável do *Fabric* permite o uso de diferentes tipos de protocolos de consenso, diferentes linguagens de programação para a criação de contratos inteligentes e diferentes bancos de dados para armazenar a corrente de blocos e seu estado atual. Outra proposta do *Hyperledger Fabric* é criar redes nas quais podem coexistir diversas correntes de blocos isoladas, independentes, e com diferentes configurações, contratos inteligentes e participantes. As entidades que participam de uma rede baseada em correntes de blocos do *Fabric* podem ter diferentes funções e permissões de acesso à corrente de blocos (REBELLO *et al.*, 2019, p.23).

Na Indústria 4.0, a *Blockchain* oferece garantias que as empresas possam ter sistemas de solicitação de peças em estoque, otimização dos processos produtivos, identificação de falhas atuais e futuras na cadeia de suprimentos, redução da utilização de energia e, logo, custos com o mais alto nível de segurança de dados, possibilitando a adaptação aos novos modelos de negócios, sendo eficiente, flexível e otimizado (RODRIGUES; YOSHINO, 2021).

Vale salientar que a *Blockchain* teve uma evolução comparada às revoluções industriais, na Figura 4 mostra como foi esse processo de evolução ao longo do tempo, como também, as principais tecnologias que foram inseridas. Existem 4 grandes etapas como (BODKHE *et al.*, 2020) define: Vale salientar que a *Blockchain* teve uma evolução comparada às revoluções industriais, na Figura 4 mostra como foi esse processo de evolução ao longo do tempo, como também, as principais tecnologias que foram inseridas. Existem 4 grandes etapas como (BODKHE *et al.*, 2020) define:

Figura 4 – Evolução da *Blockchain*.



Fonte: Bodkhe *et al.* (2020)

**Blockchain 1.0:** A primeira geração da tecnologia que se iniciou com o *Bitcoin* em 2009, na qual, houve a introdução da primeira criptomoeda, e toda a construção de ideia de transações por meio de criptomoedas.

**Blockchain 2.0:** Nesta segunda geração houve a introdução dos contratos inteligentes e dos serviços financeiros, em 2010. O desenvolvimento do *Ethereum* e *Hyperledger* foi introduzido

também nesta época.

**Blockchain 3.0:** Já na terceira geração foi realizada a descentralização das aplicações, com pesquisas realizadas dentro da saúde, *IoT*, governança, *Supply-Chain*, negócios, e *Smarties Cities*. Nesta etapa, também, o conceito de descentralização foi aplicado tanto no *Ethereum*, *Hyperledger* quanto nos contratos inteligentes das aplicações.

**Blockchain 4.0:** Na atual geração tem-se um salto na evolução, onde o foco foi no serviço de como tornar o *ledger* mais público e na distribuição da base de dados em tempo real. Nesta etapa, a *Blockchain* teve uma integração perfeita com as aplicações de Indústria 4.0, onde os contratos inteligentes eliminaram a necessidade de utilizar contratos convencionais, pois todos são validados dentro da rede. Logo adiante, estão as tecnologias utilizadas nesta fase da *Blockchain*, definidas por (BODKHE *et al.*, 2020):

- *Segurança de dados (Data security)*: Esse é o objetivo central da *Blockchain*, logo, a segurança de dados é o conjunto de todas as tecnologias e protocolos que são envolvidas durante a criação, transmissão e criptografia dos blocos, algumas dessas serão mostradas logo abaixo.
- *Contratos inteligentes (Smart contracts)*: É um protocolo que permite a realização de transações na ausência de terceiros, pois tornam irreversíveis e rastreáveis os blocos que são criados e inseridos na rede.
- *Tokenização (Tokenization)*: Considerada uma das tecnologias mais importantes, facilita a representação dos serviços, direitos e bens digitais com o auxílio dos *tokens*. Nesse sentido, garante a confiança e a troca de valores para diferentes usuários, sem o envolvimento de uma autoridade central.
- *Descentralização de dados armazenados (Decentralized data storage)*: É requisito básico da distribuição do sistema, pois todos os dados são mantidos separados e alocados em máquinas diferentes durante uma transação, é conectada, principalmente, com os protocolos que envolvem consenso.
- *Imutabilidade (Immutability)*: É um dos princípios que garante que os registros na rede não devem ser adulterados ou modificados, no *ledger* compartilhado, pois garante a integridade dos dados armazenados.
- *Consenso (Consensus)*: São as transações na rede que só devem ser atualizadas se, e somente se, todos os usuários verificarem e concordarem com os mesmos, validando, nesse sentido, a sequência da cadeia de blocos.

- *Blocos digitalizados (Typed blocks)*: É uma tecnologia necessária para a realização dos contratos inteligentes e utilizada, também, no pagamento de alta velocidade nas transações comerciais. Esses blocos possuem informações como seu tempo, algoritmo de consentimento, número das transações por blocos e a formatação dos mais diferentes tipos de dados.
- *Fragmentação (Sharding)*: Faz com que cumpra a garantia da separação de conteúdo ao longo dos subconjuntos de nós, de forma que nem todos os nós precisam carregar a carga total de processamento, ou carga qualquer.
- *Gerenciamento do direito de acesso (Access rights management)*: É a base da criptografia privada e pública, além da distribuição de bancos de dados com as chaves de identificação do usuário, logo, faz-se necessária para atribuir e gerenciar os direitos de acesso.
- *Operação de desenvolvimento de gerenciamento da blockchain (Standards used to manage permissioned blockchains)*: A imutabilidade da rede *Blockchain* faz o acesso dos dados em uma ordem específica. Os certificados públicos são disponíveis na *Blockchain* pública, mas sem ter a chave privada, essa autorização não é fornecida ao usuário. Nesse sentido, todos os dados são gerenciados em ordem de elementos como o endereço de IP, nome, código e linguagem de marcação extensível. Estes são publicado dentro da rede, onde os usuários estão inseridos, com a comunicação em processo.
- *Formatação padrão de dados (Standard data formatting)*: Dentro da *Blockchain* faz-se necessária a padronização dos formatos de dados em relação às *Application Programming Interface / Interface de Programação de Aplicativos (API)*. Assim, cada organização na rede necessita usar o mesmo formato de dados ou *APIs* para realizarem a comunicação.
- *Capacidade de atualização (Updatability)*: Esta necessidade deve-se a razão de distribuição e manter a importância dos registros. Em uma rede *Peer-to-Peer / Ponto a Ponto (P2P)*, os dados precisam ser estruturados e atualizados sistematicamente para cada nó que transaciona dentro da rede.
- *Criptografia ponto a ponto entre nós de Blockchain (P2P encryption between blockchain nodes)*: São as criptografias utilizadas para proteger as transações entre os nós finais, conectados dentro da cadeia de blocos.

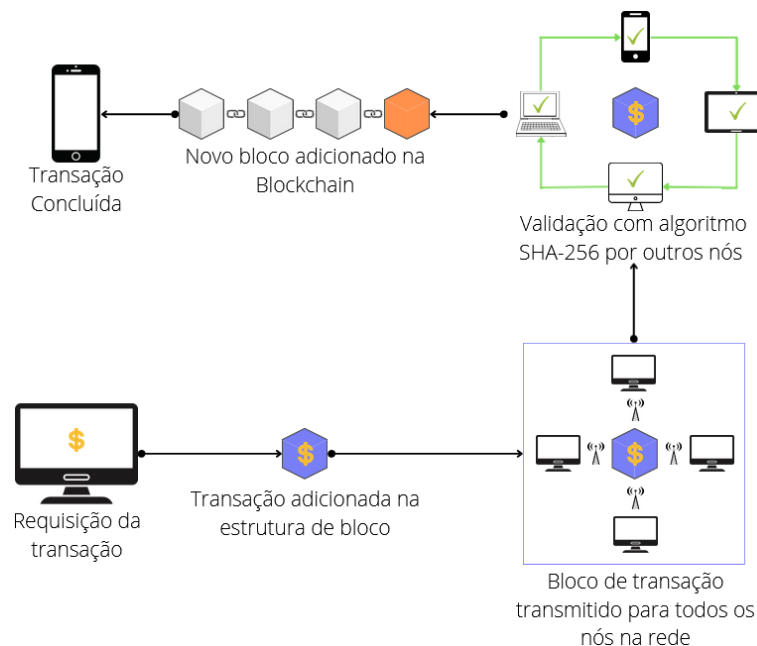


- *Experiência de usuário (User Experience (UX))*: Dentro de um sistema, a interface de usuário deve ser um ambiente conveniente e de fácil acesso. A principal diferença entre um sistema *Blockchain* e o não-*Blockchain* é a maneira pela qual o usuário o percebe.
- *Desenvolvimento operacional (Development operation)*: É a etapa inserida dentro da criação dos sistemas baseado em *Blockchain*, pois na produção do sistema onde a seleção das plataformas devem ser no menor tempo de configuração e complexidade.

### 2.4.1 Arquitetura da Blockchain

A arquitetura da *Blockchain* tem como base a validação de cada transação realizada, essas transações são verificadas e não podem ser alteradas sob nenhuma circunstância, conforme ilustrado na Figura 5, cada novo requerimento de transação possuem diversos passos.

Figura 5 – Arquitetura da *Blockchain*.



Fonte: Bodkhe *et al.* (2020)

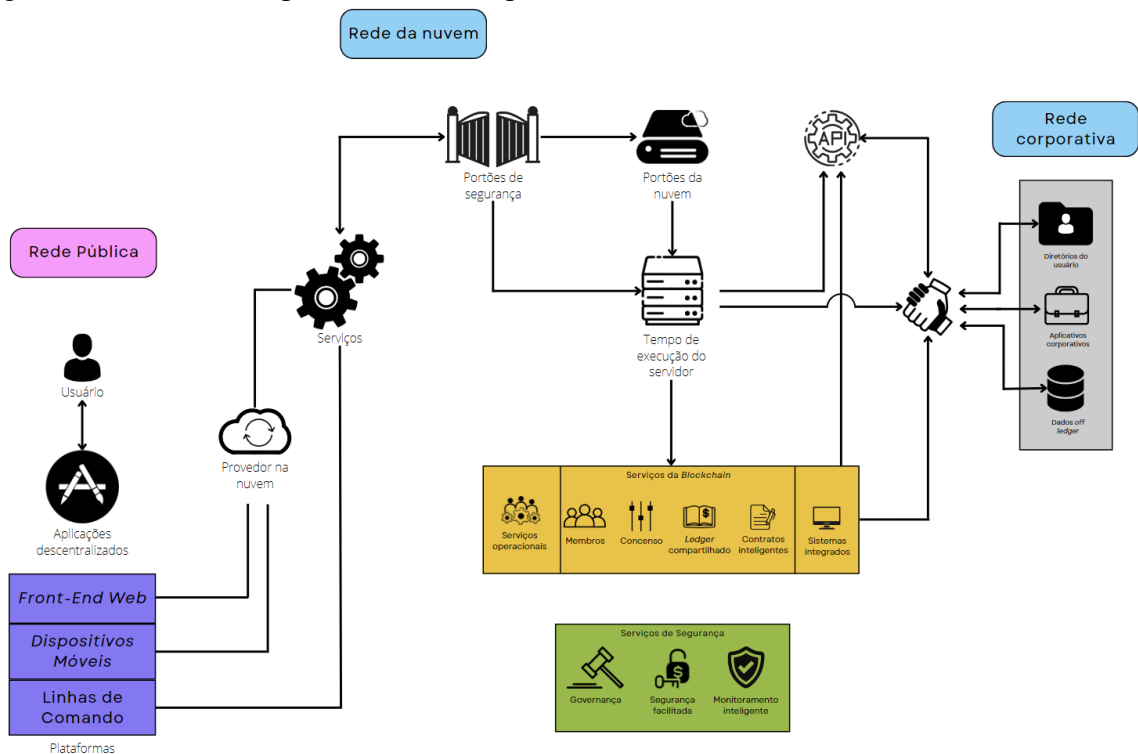
Na estrutura de bloco criada, são guardadas as informações requeridas, nessas estruturas são armazenadas o índice, a hora, a *hash* do bloco e o da transação. Logo após, o bloco é transmitido para uma rede de conexão ponto a ponto, na qual é utilizado o algoritmo *Security Hash Algorithm / Funções Hash Criptográficas (SHA-256)* – é o conjunto de funções *hash* que foram projetadas pela Agência Nacional dos Estados Unidos. Esses algoritmos realizam 64 operações em blocos de 64 *bytes*, em um sistema de 64bits (GUERON *et al.*, 2011) – para a

criação de uma *hash* unificada, nesse sentido, cada bloco é conectado com a *hash* anterior onde é inquebrável na rede de transações. Essas transações são validadas diversas vezes na rede de nós através dos contratos inteligentes e consentimento, resultando em um sistema descentralizado, seguro e confiável (BODKHE *et al.*, 2020).

Logo na sequência, é realizada a adição do bloco no *ledger*, onde a verificação de cada nova transação é feita através da ordem de nós que são adicionadas a cada novo bloco na cadeia, nesse sentido, a extensão da cadeia de blocos é dada pela adição de um novo bloco que é inalterável, além de não pode ser excluído por qualquer outro usuário (BODKHE *et al.*, 2020).

Na arquitetura da *Blockchain* existe uma divisão em 3 diferentes tipos de rede, na qual, a combinação entre elas geram a aplicação do usuário. São elas: rede pública, rede da nuvem e rede corporativa, cada uma com suas funcionalidades e particularidades, conforme mostrada na Figura 6.

Figura 6 – Diferentes tipos de rede na arquitetura da *Blockchain*.



Fonte: Bodkhe *et al.* (2020)

**Rede Pública:** Nesta rede é feita uma conexão entre os usuários comuns, as aplicações de provedores em nuvem e os serviços. Dentre os conectados, destacam-se:

- **Usuários:** São os responsáveis por criar, executar e gerenciar a distribuição das aplicações de *Blockchain* descentralizada. Os usuários são classificados em desenvolvedores, administradores, operadores, auditores e serviços.

- Desenvolvedores: São responsáveis por desenvolver os mais variados tipos de aplicações para o cliente ou usuários com diversas funcionalidades. Como também, desenvolvem os contratos inteligentes que serão utilizados por outros usuários nas transações dentro da rede *Blockchain*.
- Administrador: É responsável pela manutenção, produção e configuração das aplicações descentralizadas dentro da rede *Blockchain*.
- Operador: É responsável por realizar o monitoramento e gerenciamento das aplicações dentro da *Blockchain*.
- Auditores: São responsáveis por manusear ou rever o histórico de transações das operações dentro da rede *Blockchain* corporativa, além de verificar a legalidade das interações que são realizadas.
- Serviços de Ponta: São responsáveis por autorizar a informação que irá ser destinada a rede da nuvem, rede corporativa e aplicações do usuário. Além de verificar o domínio do sistema, a entrega de informações na rede, os *firewalls*, os armazenamentos e a latência gerada pela carga de dados.

Dentro da rede *Blockchain* existem os mais diversos tipos de usuários que fazem interações, para isso, são necessários os *Software Development Kit / Kit de Desenvolvimento de Software (SDK)* que facilitam essas interações dentre as diversas plataformas, dentre elas, existem a *Cliente Software Development Kit* – sendo a versão para clientes/usuário comum que utilizam APIs para realizar as interações, normalmente, são desenvolvidas em Java e Python – e o *Command Line Interface* – na qual, os desenvolvedores e administradores utilizam para realizar suas atividades de manutenção das contas de usuário, monitoramento, importações e exportações das mais variadas tipos de formato de texto – que se fazem necessárias para a conexão entre a rede pública e a rede da nuvem (BODKHE *et al.*, 2020).

**Rede da Nuvem:** Neste tipo de rede consiste na variedade de nós que estão sendo executados, cada um com sua própria capacidade e funcionalidade diferentes. Na qual, destacam-se as aplicações de *Blockchain*, as interfaces de programações, os serviços de *Blockchain*, os serviços de segurança e os sistemas integrados.

- Aplicações da *Blockchain*: É formada pelo conjunto de aplicações *web* que são empregadas dentro desta tecnologia, podendo inclusive se conectar com os usuários corporativos, como também, aos outros tipos de usuários – administradores, auditores e operadores –. Essas aplicações, utilizam meios como APIs para conexão com os

outros serviços e pesquisas, como sistemas de saúde, financeiro, seguro, fornecimento de energia, *Supply-Chain*, IoT e outros.

- Interfaces de programações: Conhecidas como APIs, são bastante utilizadas pela facilidade de cruzar as diferentes plataformas, dentro da *Blockchain* existem inúmeras APIs que tanto os desenvolvedores quanto usuários fazem seu uso para dados e informações, como também, para análise de outros serviços.
- Serviços da *Blockchain*: Esses serviços são divididos em 4 partes para o funcionamento do ecossistema e garantir a performance da *Blockchain*. Na primeira parte, os membros são os serviços que utilizam *Identity / Identidade (ID)*, credenciais e histórico de transações para manter os usuários confidenciais dentro da rede *Blockchain*. Na segunda parte, o consenso é o protocolo que rege cada nó dentro da rede. Esse protocolo em específico valida cada regra e a validade entre os nós e usuários. Na terceira parte, utiliza-se o *ledger* em todas as transações para realizar essas conexões com criptografia, utilizando blocos com *hash* que foi explanado anteriormente. Na quarta parte, os contratos inteligentes utilizam a cadeia de comunicação dos blocos para seguir os termos que foram impostos entre os nós e usuários, normalmente, elas são desenvolvidas aliada as linguagens de programação.
- Serviços de segurança: São utilizados meios como o seguro do tempo de conexão – na qual, as transações são adicionadas, dentro da *ledger*, informações como sistema operacional e bibliotecas utilizadas dentro da programação para o tempo de conexão do ecossistema – e a distribuição de eventos, onde são geradas notificações de eventos específicos dentro da rede, na qual, somente aqueles que estão escritos são elegíveis para receber essas notificações.

Os sistemas integrados são a parte fundamental que fazem a conexão entre a rede da nuvem com a rede corporativa, pois esses sistemas utilizam combinações ou integrações de APIs dentro da sua programação para realizar sua conexão. Normalmente, essas conexões utilizam meios como *Virtual Private Network / Rede Privada Virtual (VPN)* ou *gateway tunnel* para garantir a segurança dessa conexão, como também, os filtros e formatos próprios da rede *blockchain* (BODKHE *et al.*, 2020).

**Rede Corporativa:** Esta rede atua principalmente nos diretórios corporativos, nas aplicações e banco de dados.

- Diretórios corporativos: As VPNs e *gateways* garantem a segurança das informa-

ções trafegadas na rede, dados, informações corporativas, autorizações, dados de usuários pessoais são alguns exemplos dos tipos de informações que são trafegados comumente dentro desses diretórios.

- Aplicações corporativas: Essas aplicações se conectam diretamente com a rede *Blockchain*, como também, se comunicam com os contratos inteligentes. São comumente utilizadas para coletar os dados corporativos e fazer requerimentos para o envio a outras aplicações dentro da rede *Blockchain*.
- Dados corporativos: Contém metadados e histórico das transações do sistema. Como também, envia *feedbacks* para a rede *blockchain* durante as transações, ela é dividida em diretórios, aplicações e dados.

Os meios corporativos dentro da *Blockchain* buscam sempre o melhor desempenho e formalidade durante suas transações, pois os logs de arquivos são utilizados para realização de inspeções de segurança, governança ou conformidade. Todos esses valores são adicionados da melhor forma de compreensão, pois eles coletam dados de todas as operações corporativas, assim como, seus registros (BODKHE *et al.*, 2020).

#### 2.4.2 O Bitcoin dentro da Blockchain

Existe uma diferença entre *Bitcoin* – com a letra maiúscula, se refere ao protocolo que foi desenvolvido para criar, sobre a camada da *internet*, uma rede de *Distributed Ledger Technology* / Tecnologia de Registro Distribuído (DLT) com transações registradas relativas às transferências de valores diretamente P2P, ou seja, sem intermediários – e o *bitcoin* – com letra minúscula, se refere a moeda digital BTC existente somente no mundo virtual, na qual é criptografada e conversível para moeda fiduciária, baseada em um sistema descentralizado –, em ambos os casos, surgiram no contexto de crise americana em 2008, na qual, as instituições financeiras ficaram bastante abaladas (UHDRE, 2021).

Atualmente, quando é realizado uma transferência bancária, a conta do Banco A passa os valores para a conta do Banco B, nesse sentido, o Banco A irá fazer uma verificação de saldo do remetente e fará o registro de saída dos valores transferidos. Já o Banco B, fará a entrada dos valores transferidos para as respectivas contas destinatárias, esse processo faz-se necessário para assegurar que os valores utilizados serão únicos, e foram gastos somente uma vez.

O protocolo *Bitcoin* faz a substituição desses papéis intermediários, pois propõe a

descentralização de arquitetura na rede, ou seja, vários computadores ao redor do globo estarão conectados de forma distribuída. Nesse sentido, os dados registrados são distribuídos, de forma que cada computador conectado possua a contabilidade atualizada de cada operação realizada (UHDRE, 2021). Utilizando como base o exemplo anterior, todos os computadores – chamados de nós ou *legder* – da rede, poderiam fazer a verificação do saldo na conta do emitente, pois possuem o registro de todas as operações até então realizadas. Da mesma forma, cada um dos pontos (computadores) conectados na rede fariam a atualização quase simultaneamente do registro, contabilizando cada operação recém-realizadas, a cada transferência de valores concretizadas.

A transferência de *bitcoin* hoje é validada através das máquinas (computadores) que possuem o controle das operações, para isso se tornar confiável, o mecanismo de consenso é utilizado para que os dados novos, tendo como base os registros anteriores, sejam inseridos dentro da *Blockchain*. O dado, ou bloco, é legitimado utilizando esse mecanismo, dentro do *Bitcoin*, quando a maioria da rede concorde que será colocado dentro do histórico de transações (UHDRE, 2021). Essa concordância é obtida quando a maioria dos nós (partícipes) da rede checarem a operação realizada, tendo como base os dados que já foram registrados dentro da *Blockchain*.

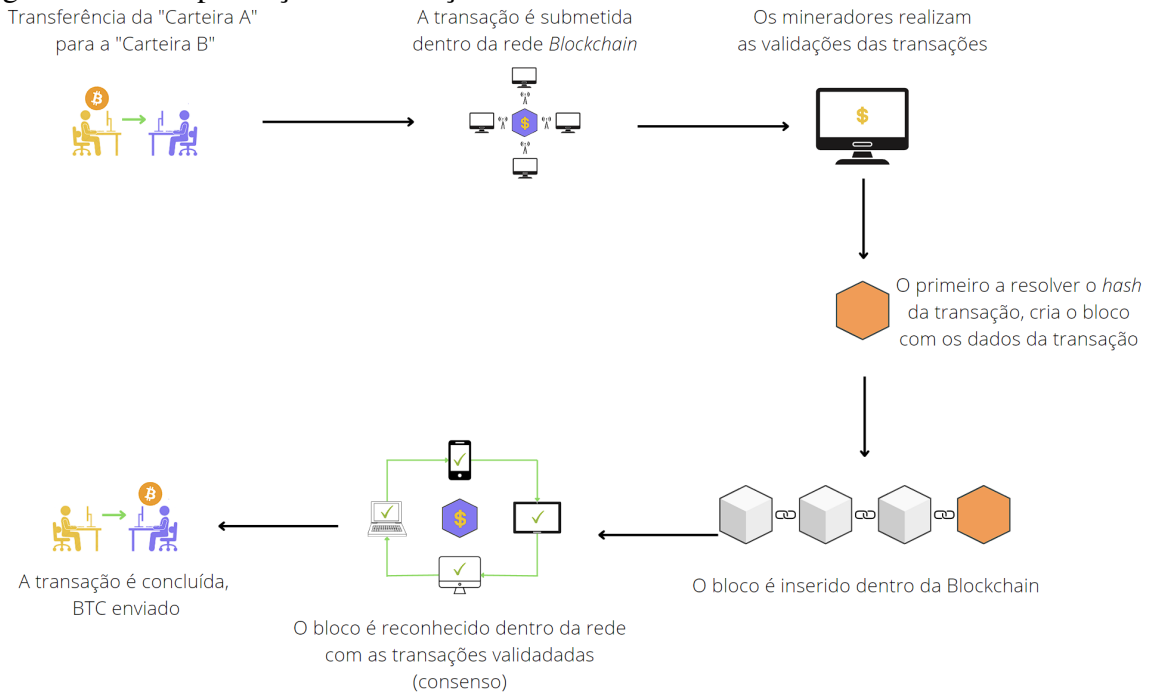
Nesse sentido, o *Bitcoin* utiliza o método de consenso baseado em PoW, para isso, depende-se de alto poder de processamento, tempo, energia elétrica e disposição de máquinas para realizar tais cálculos matemáticos (UHDRE, 2021). Diante disso, para incentivar os nós (computadores) a fazerem tal processo oneroso, é realizado uma disputa, na qual, o primeiro que conseguir solucionar o problema matemático – validar e inserir o novo bloco dentro da *Blockchain* – será o vencedor e receberá uma recompensa em *bitcoin*. Eis a origem da moeda.

Vale ressaltar que além dessa recompensa, em *bitcoins*, por fazer a solução do algoritmo matemático, esses validadores recebem recompensas, também, pelas taxas de transação, ou *fees*. Ou seja, cada transação realizada, por exemplo, transferência de *bitcoins* da “carteira A” para a “carteira B” será cobrada uma porcentagem em cima do valor validado. Então, o minerador – pessoa/máquina responsável pela validação – que conseguir vencer a disputa, receberá a recompensa de inserir o bloco na rede, como também, as taxas cobradas por todas as operações registradas daquele bloco (UHDRE, 2021).

Portanto, a resolução do algoritmo matemático é chamado de validação; a criação do bloco novo é chamado de mineração; e os nós (computadores) que estão participando dessa

atividades, são chamados de mineradores. Vale salientar que uma vez que o bloco é minerado, o mesmo precisa ser ingressado na *Blockchain*, para isso, os demais nós (computadores) precisam opinar pela adequação da resposta (no caso, o *hash* do novo bloco minerado) que foi obtido pelo vencedor, todo esse processo é ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Exemplificação de transação BTC.



Fonte: Uhdre (2021)

### 3 METODOLOGIA

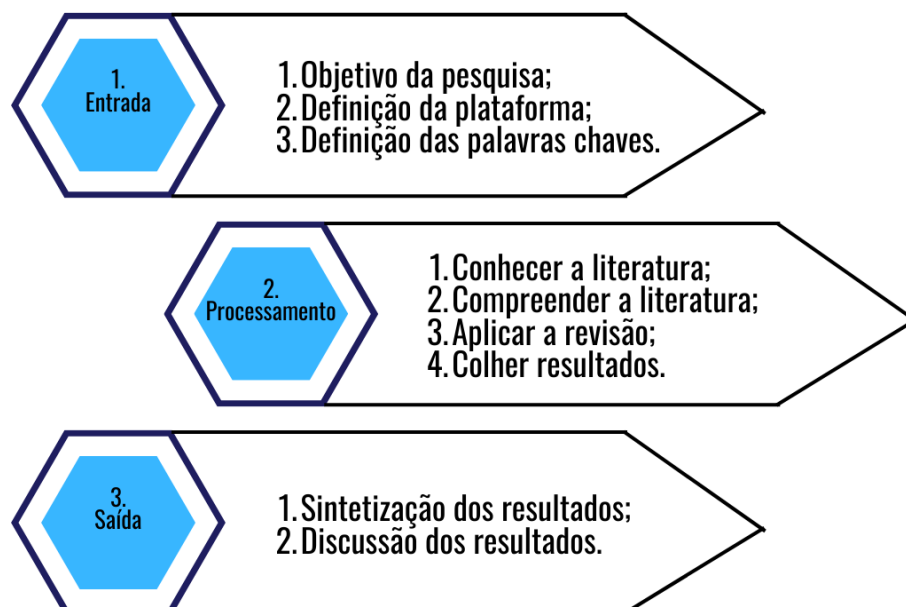
O presente estudo investiga o estado da arte de estudos que relacionam as tecnologias *Blockchain* à Indústria 4.0 e/ou 5.0, para isso, é feita uma revisão bibliométrica de escopo (*scoping review*). Esse tipo de pesquisa permite explorar o que a literatura científica aborda sobre um tema, analisando a quantidade de artigos publicados, às vezes em que foram citados e os formatos dos estudos. A condensação e publicação desses dados, permite inferir lacunas e oportunidades para futuras pesquisas (PETERS *et al.*, 2020).

Além disso, investigam questões emergentes, podendo servir como pesquisas exploratórias, dando clareza a especificidades das pesquisas, sendo sintetizadas. O modelo de revisão adotado seria a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) – *Roadmap*, proposto por Conforto *et al.* (2011) com três fases distintas: entrada, processamento e saída.

#### 3.1 Etapas da Revisão

As revisões bibliométricas comumente possuem três fases distintas: entrada, processamento e saída, conforme a ilustrado na Figura 8. Essas fases englobam etapas sequenciadas, sendo personalizáveis a cada contexto de pesquisa.

Figura 8 – Etapas da Revisão Bibliográfica.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Nesse contexto, a revisão bibliométrica é sistêmica, processando dados para gerar



informações sintetizadas, mapeando as formas como o assunto é tratado na literatura científica. Por ser um tema relativamente novo, não foi feito nenhum recorte temporal quanto aos estudos considerados na pesquisa, obedecendo as três fases já citadas.

### 3.1.1 *Entrada*

A primeira etapa, a entrada, foi subdividida em três passos. Inicialmente a definição do problema, sendo o ponto de partida para as revisões sistemática (CONFORTO *et al.*, 2011). No caso, a revisão é feita para responder qual o estado da arte sobre a utilização da *Blockchain* no contexto da Indústria 4.0 e 5.0. Quanto ao objetivo seria analisar o estado encontrado, fazendo subdivisões por ano, país, quantidade de citações, entre outras variáveis.

Optou-se pela plataforma *Web of Science* devido o acesso da plataforma a diversas fontes de informação científica de maneira interdisciplinar e com presença exclusiva de estudos que obedeçam regras científicas. Em seguida, delimitaram-se as palavras-chave para a busca, ou descritores, sendo eles: artigos com o tema “*Blockchain*” que contenham como assunto: “*Industry 4.0*” ou “*Industry 5.0*”, dando preferência pelos termos em inglês devido ser a língua mais utilizada cientificamente.

Como critérios de inclusão foram definidos os seguintes: os artigos deveriam ser científicos; artigos completos; materiais de livre acesso; e, sobretudo, artigos revisados por pares. Dessa forma, não foram considerados estudos publicados em periódicos não-científicos. Por fim, é lido o resumo do artigo a fim de identificar se essa faz parte do escopo da pesquisa. Esses passos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado da busca na base de dados.

Filtros	Total de estudos
No assunto “blockchain” e “industry 4.0” ou “industry 5.0”	216
Artigos revisados por pares	201
Pós-revisão dos resumos	198

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Ao combinar o assunto “*Blockchain*” com “*Industry 4.0*” ou “*Industry 5.0*” totaliza-se 216 resultados. Em seguida, delimita-se a apenas os que são artigos científicos revisados por pares, reduzindo para 201 estudos. Por fim, após a leitura dos resumos são excluídos 2 artigos, totalizando 198, sendo a quantidade total de estudos considerados nessa revisão. A coleta de dados foi feita entre setembro e outubro de 2022, não sendo estabelecido nenhum recorte

temporal específico, todavia, a maioria dos artigos encontrados entre 2017 e 2022, reforçando a recenticidade do assunto na literatura científica.

### **3.1.2 *Processamento***

Nesta fase, a pesquisa é processada, sendo intermediária entre a entrada e a saída dos dados. Sendo subdividido em três fases: a condução das buscas, análise dos resultados e documentação. Na condução das buscas são feitos os procedimentos já citados, enquanto que a análise dos resultados consiste na aplicação dos filtros e suas respectivas discussões dos resultados. Por fim, acontece a documentação, na qual as informações são catalogadas.

Nesse sentido, todos os resultados armazenados em consonância com os filtros de pesquisa utilizados e as atividades sequenciadas serão importantes para as discussões provenientes da etapa posterior: a saída.

### **3.1.3 *Saída***

Esta fase se inicia com a categorização dos estudos, nas quais são considerados os resultados potencialmente conflitantes, divergentes ou contraditórios. E, dessa forma, estabelecer uma ordem de priorização dos estudos, identificando os principais periódicos para a área (PETERS *et al.*, 2020)

Em seguida, os artigos são arquivados em uma coletânea da pesquisa, ordenando-os por título, autores e ano de publicação, evidenciados no referencial bibliográfico. Por fim, é formulada uma síntese dos dados, e em suas discussões provenientes comparados os resultados críticos com os conceitos teóricos vigentes.

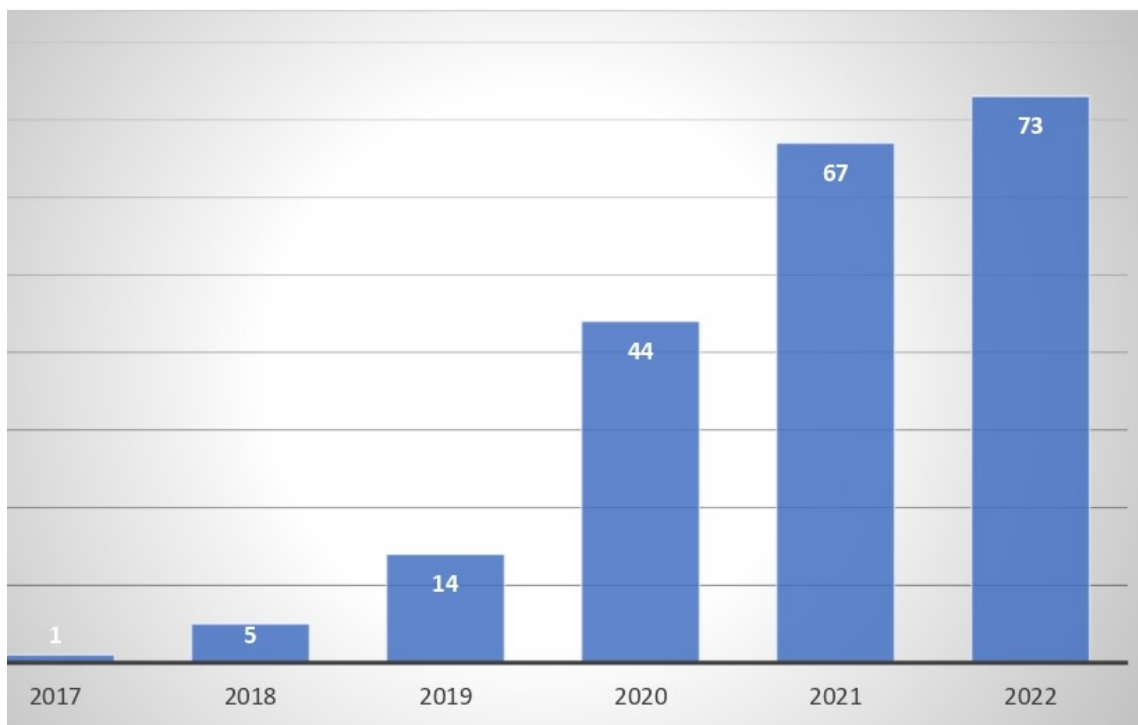
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Indústria 5.0 é geralmente chamada de Indústria 4.0 *Plus*, Indústria 4.0 *Symmetrical*, Indústria 4.0-S, ou outras terminologias (ÖZDEMIR; HEKIM, 2018). Porém, a indústria está passando por uma nova transformação, e conceitos que antes eram abordados de maneira superficiais, agora passam a serem envolvidas mais profundamente, assim como, tecnologias e protocolos que antes não eram interconectados, agora passam a ser, exemplo, a *Blockchain*. Nesse sentido, é interessante observar como esses assuntos são explorados na literatura científica, realizando um mapeamento em relação a características dos estudos.

### 4.1 O *Blockchain* na Indústria 4.0 e 5.0 em números

Em levantamento bibliográfico, a partir da plataforma *Web of Science*, é possível identificar um aumento considerável em publicações, sobretudo a partir de 2021. Além disso, uma tendência observada desde o início da análise. Esse cenário indica interesse científico no tema, conforme é evidenciado na Figura 9.

Figura 9 – Quantidade de publicações sobre o tema *Blockchain* por ano.

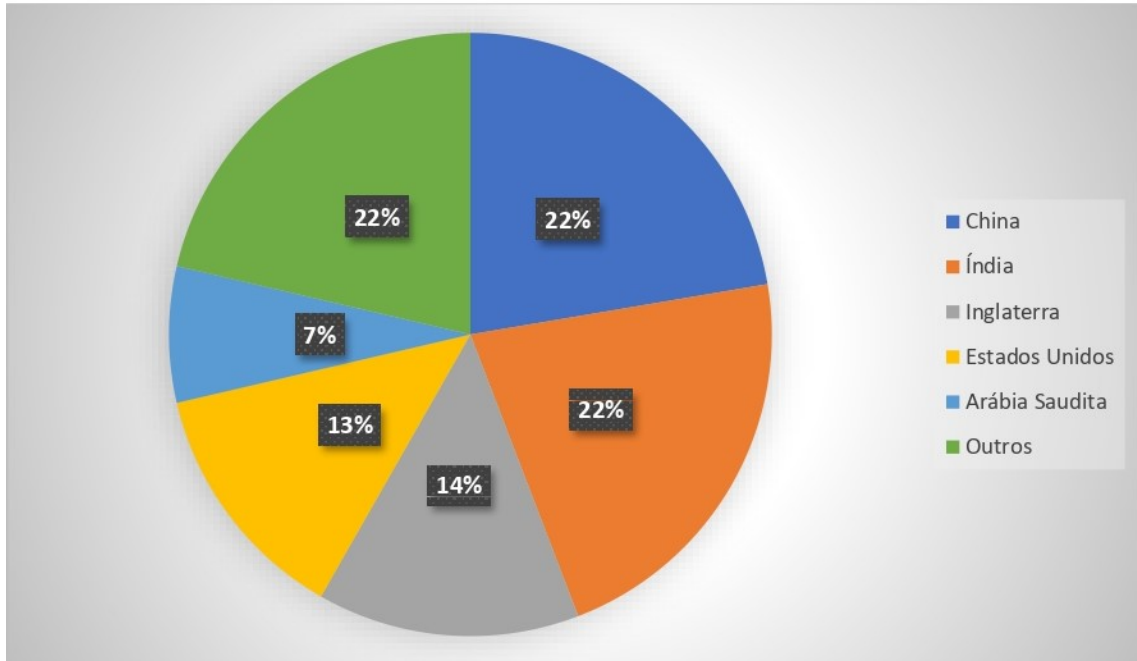


Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Observa-se que até o fechamento desta pesquisa, em outubro, o ano de 2022 já possuía um recorde de publicações associavam o *Blockchain* à Indústria 4.0 e 5.0. Além disso, os

países que mais produzem artigos sobre o tema seriam concentrados na Ásia, correspondendo a mais da metade da produção total, ao todo, artigos de 59 países foram considerados na pesquisa. Essa distribuição geográfica é evidenciado na Figura 10.

Figura 10 – Produção científica por país.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Observa-se, também, que as pesquisas sobre o tema são concentradas no continente asiático, com países da Ásia entre os cinco que mais publicam (China, Índia e Arábia Saudita). Vale ressaltar que a Inglaterra e os Estados Unidos seriam outros polos no desenvolvimento dessas pesquisas. Em relação à produção brasileira, foram encontrados cinco artigos sobre o tema, sendo o segundo país da América Latina com maior número de publicações, atrás apenas do Peru, com 9 artigos.

Nesse sentido, sugere-se que o tema foi investigado em diversos contextos, por autores das áreas de Ciência da Computação, Engenharia, Telecomunicações, Negócios e Sistemas de Informação. Diante disso, a Tabela 3 evidencia os dez artigos mais citados sobre o tema, considerando a plataforma *Web of Science*.

Observa-se que, dentre os dez artigos mais citados, todos possuem mais de cem citações, embora possuam até quatro anos de publicação. O artigo mais citado, de autoria de Reyna *et al.* (2018) classifica o *Blockchain* como uma tecnologia chave que transformará a maneira de compartilhamento de informações, investigando os desafios e aplicações dessa tecnologia, realizando uma meta-análise de publicações anteriores.

Tabela 3 – Artigos mais citados sobre o tema

Ano	Autor	Título	Citações
2018	Reyna <i>et al.</i>	On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities	588
2017	Sikorsi <i>et al.</i>	Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market	359
2019	Kamble <i>et al.</i>	Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context	252
2020	Tanwar <i>et al.</i>	Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications	197
2019	Huang <i>et al.</i>	Towards Secure Industrial IoT: Blockchain System with Credit-Based Consensus Mechanism	193
2018	Lin <i>et al.</i>	BSeIn: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0	191
2019	Zhao <i>et al.</i>	Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions	183
2018	Khaqqi <i>et al.</i>	Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application	161
2020	Kouhizadeh <i>et al.</i>	Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice	147
2020	Esmaelian <i>et al.</i>	Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0	115

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

O segundo mais citado, Sikorski *et al.* (2017) explora diretamente as aplicações do *Blockchain* relacionadas à Indústria 4.0, na qual é empregado para facilitar a interação entre as máquinas no contexto do setor químico-industrial. Além disso, o terceiro mais citado, escrito por Kamble *et al.* (2019) investiga a maneira como as transações via *Blockchain* são integradas nas cadeias de suprimento, questionando 191 profissionais do ramo industrial, dentro do contexto indiano.

Dos artigos listados na Tabela 3 são percebidas três tendências de pesquisa a respeito da utilização do *Blockchain* no contexto da Indústria 4.0 ou 5.0, sendo elas:

- Investigações sobre o estado da arte, consistindo em estudos teóricos, revisões bibliográficas e metanálises, buscando ampliar a discussões sobre a utilização do *Blockchain* por pessoas físicas e jurídicas (REYNA *et al.*, 2018; TANWAR *et al.*, 2020; LIN *et al.*, 2018; KHAQQI *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2019).
- Aplicações do *Blockchain* em contextos específicos da Indústria 4.0 ou 5.0 (SIKORSKI *et al.*, 2017; KAMBLE *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2019).
- Relação entre o *Blockchain* e a sustentabilidade na Indústria 4.0/5.0 (KOUHIZADEH *et*

*al.*, 2020; ESMAEILIAN *et al.*, 2020).

Nesse sentido, as tendências de pesquisa evidenciam a importância de testagens empíricas do *blockchain*, tendo em vista a grande concentração de metanálises. Além disso, diversos setores econômicos são fontes férteis de pesquisas sobre o tema. Desse modo, é interessante observar os achados dos artigos encontrados e suas respectivas contribuições para o desenvolvimento científico.

## 4.2 Considerações sobre os artigos encontrados

Observa-se que, embora seja um tema que permita aplicações práticas, a maior parte dos estudos encontrados são metanálises, ou seja, combinam resultados de outros estudos a fim de gerar respostas para alguma questão (CONFORTO *et al.*, 2011). A Figura 11 mostra esses resultados e evidenciam o interesse acadêmico sobre as tecnologias *Blockchain* e a nova configuração da indústria, mas em teor exploratório, explicitando a necessidade de mais aplicações práticas, algo que pode se tornar uma tendência de pesquisa conforme a *Blockchain* se populariza.

O estudo de Reyna *et al.* (2018) defende que tecnologias disruptivas, como *big data* e a computação em nuvem foram alavancadas pela IoT para superar suas limitações desde a sua concepção, e propõe evidências que o *Blockchain* será uma das próximas. Ou seja, dá ênfase nesse relacionamento, investiga os desafios em aplicativos e pesquisa os trabalhos mais relevantes para analisar como o *Blockchain* pode potencialmente melhorar a IoT.

Tanwar *et al.* (2020) faz um estudo semelhante ao de Reyna *et al.* (2018), entretanto focando na área da saúde. O artigo propõe várias soluções para melhorar as limitações atuais em sistemas de saúde usando a tecnologia *Blockchain*. São exploradas *frameworks* e ferramentas para medir o desempenho de tais sistemas, por exemplo, *Hyperledger Fabric*, *Composer*, *Docker Container*, *Hyperledger Caliper*, entre outros. Além disso, propõe um algoritmo de controle de acesso para melhorar a acessibilidade de dados entre profissionais de saúde, auxiliando na simulação de ambientes para implementar o registro eletrônico de saúde.

Lin *et al.* (2018) ainda aborda a Indústria 4.0 como algo novo propondo uma estrutura hierárquica composta por quatro camadas tangíveis, projetada para integrar verticalmente redes de valor inter-organizacionais, cadeia de valor de engenharia, fábricas de manufatura etc. implementar uma fábrica inteligente, flexível e reconfigurável. No entanto, é necessário considerar a segurança inerente aos dispositivos e redes existentes (autônomos), bem como aqueles que

Figura 11 – Principais considerações a partir de cada autor estudado.

BLOCKCHAIN		
<p>Reyna et al. (2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Defende as tecnologias disruptivas</li> <li>- Investiga os desafios do Blockchain</li> <li>- Analisa formas do IoT ser alavancado pelo Blockchain</li> </ul>	<p>Khaqqi et al. (2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Integra o Blockchain a causas ambientais</li> <li>- Faz propostas que envolve a tecnologia Blockchain no gerenciamento e combate a fraude de ETS</li> </ul>	<p>Sikorski et al. (2017)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolve estudos envolvendo Blockchain e a indústria química</li> </ul>
<p>Tanwar et al. (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estuda o Blockchain na área da saúde</li> <li>- Proposta de algoritmo para o controle de acesso visando a acessibilidade dos registros eletrônicos de profissionais da saúde</li> </ul>	<p>Zhao et al. (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estuda o Blockchain na área agroalimentar</li> <li>- Mostra a utilização do Blockchain aliado a outras tecnologias para melhorar a gestão da cadeia de valor e apresenta seus desafios</li> </ul>	<p>Huang et al. (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Foca seus estudos na área de segurança de dados com utilização do Blockchain</li> </ul>
<p>Lin et al. (2018)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aborda os estudos dentro da Indústria 4.0</li> <li>- Realiza considerações importantes envolvendo Indústria 4.0 e segurança, através do uso do Blockchain</li> </ul>	<p>Kouhizadeh et al. (2020) Esmailian et al. (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizam estudos da utilização do Blockchain aliado a outras tecnologias dentro da Indústria 4.0 e Indústria 5.0</li> </ul>	<p>Kamble et al. (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realiza pesquisas envolvendo Blockchain e cadeia de suprimentos</li> </ul>

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

podem surgir em tais integrações. Especialmente as soluções existentes são insuficientes para lidar com essas questões fundamentais de segurança. Assim, apresenta um sistema baseado em *Blockchain* para autenticação mútua segura, para impor políticas de controle de acesso refinadas.

Khaqqi *et al.* (2018) incorpora o *Blockchain* à causa ambiente, propondo um *Emissions Trading System* / Sistema de Comércio de Emissões (ETS) com dois objetivos: reduzir a produção de emissões e estimular a adoção de tecnologia de redução de longo prazo. Embora tenha geralmente alcançado seu primeiro objetivo, seus problemas estão impedindo a realização do segundo. Várias soluções foram propostas para melhorar a eficácia do ETS, mas nenhuma delas considerou seu avanço da Indústria 4.0. Este artigo incorpora a tecnologia *Blockchain* para lidar com questões de gerenciamento e fraude do ETS enquanto utiliza um sistema de reputação em uma nova abordagem para melhorar a eficácia do ETS.

Além disso, Zhao *et al.* (2019) analisa sistematicamente a literatura sobre *Blockchain* de ponta, incluindo seus avanços recentes, principais aplicações na cadeia de valor agroalimentar e desafios de uma perspectiva holística. As descobertas sugerem que a tecnologia *Blockchain*, juntamente com a tecnologia avançada de informação e comunicação e a internet das coisas,

foram adotadas para melhorar a gestão da cadeia de valor agroalimentar em quatro aspectos principais: rastreabilidade, segurança da informação, fabricação e gestão sustentável da água. Seis desafios foram identificados, incluindo capacidade de armazenamento e escalabilidade, vazamento de privacidade, alto custo e problema de regulamentação, problema de taxa de transferência e latência e falta de habilidades.

Nesse sentido, os achados dos principais estudos associam o blockchain ao desenvolvimento da Indústria 4.0 e 5.0, associando-o a mega tendências, tais como a sustentabilidade (KOUHIZADEH *et al.*, 2020; ESMAEILIAN *et al.*, 2020). e a customização de produtos e serviços ao cliente. Além disso, trata temas centrais como segurança da informação, rastreabilidade e comunicação em redes. Desse modo, a ênfase em sua segurança pode auxiliar na redução da resistência ao seu uso.

Dentre as pesquisas aplicadas em setores específicos, observa-se uma predominância de estudos de caso em empresas desses setores. A pesquisa de Sikorski *et al.* (2017) desenvolve o estudo em uma indústria química, apresentando dois produtores de eletricidade e um consumidor negociando por meio de *Blockchain*, observando a facilitação de interações entre as máquinas. Não obstante, Kamble *et al.* (2019) realiza uma pesquisa *survey* com trabalhadores de uma indústria indiana, a fim de observar a associação da tecnologia *Blockchain* com o gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Observa-se que a tecnologia *Blockchain* proporciona uma mudança revolucionária de paradigma na maneira como as transações são realizadas nas cadeias de suprimentos. A *Blockchain* fornece melhor visibilidade e transparência ao remover as desvantagens de problemas relacionados à confiança em uma cadeia de suprimentos. Kamble *et al.* (2019) desenvolve e valida estatisticamente um modelo para entender as percepções do usuário sobre a adoção de *Blockchain*. O modelo é baseado na integração de três teorias de adoção - *Technology Acceptance Model* / Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), *Technology Readiness Index* / Índice de Prontidão Tecnológica (TRI) e *Theory of Planned Behavior* / Teoria do Comportamento Planejado (TPB).

O estudo descobriu que os construtos TRI, insegurança e desconforto, têm um efeito insignificante na percepção de facilidade de uso e utilidade. A utilidade percebida, a atitude e o controle comportamental percebido afetam a intenção comportamental. Os resultados indicam que os profissionais da cadeia de suprimentos percebem a adoção de *Blockchain* sem esforços e os ajudaria a obter o máximo de benefícios para melhorar a eficácia da cadeia de suprimentos



(KAMBLE *et al.*, 2019).

Huang *et al.* (2019) trata de forma prática a segurança de dados na *Blockchain*. O estudo propõe um método de gerenciamento de autoridade de dados para regular o acesso aos dados do sensor. Além disso, o sistema é construído baseado em *Blockchains* estruturados em gráficos acíclicos direcionados, sendo outros estilos, foi realizado um estudo de caso para a concepção de uma fábrica inteligente. Resultados extensivos de avaliação e análise demonstram que o mecanismo PoW baseado em crédito e o controle de acesso a dados são seguros e eficientes em IoT.

Desse modo, os estudos de caso validam os benefícios da utilização do *Blockchain* no contexto industrial, considerando diferentes setores e a integração da cadeia de suprimentos. A segurança dos dados é validada de forma prática, bem como os ganhos de eficiência e monitoramento utilizando essa tecnologia como base. Desse modo, os estudos apontam para a consolidação do *Blockchain* como um dos principais expoentes da indústria 4.0 e 5.0.

## 5 CONCLUSÃO

A tecnologia *Blockchain* representa uma mudança disruptiva para os tempos atuais, seu uso tem se popularizado entre vários agentes econômicos, permitindo controlar e otimizar diversos procedimentos, sendo útil em diversos contextos. Todavia, o desenvolvimento de pesquisas sobre o tema na literatura científica é recente, datando de 2018, portanto ainda é um tema pouco explorado, prova disso seria a predominância de revisões bibliográficas ou sistemáticas conforme os achados do presente estudo.

Além disso, há uma concentração de estudos nos países asiáticos, sobretudo China e Índia, onde há um investimento público alto em inovação. Desse modo, o estudo denota a necessidade da exploração científica do *Blockchain* em outros contextos, tais como o de países em desenvolvimento, América Latina ou África. Nesse sentido, o assunto ingressa em um cenário de desenvolvimento de inteligência artificial, internet das coisas e robótica, popularmente conhecido como Indústria 4.0, para alguns autores, já ingressando na Quinta Revolução Industrial.

No decorrer dos achados foram vistos ainda *frameworks* que associam a *Blockchain* a diversos contextos, tais como o gerenciamento da cadeia de suprimentos, a sustentabilidade ou a cadeia agroalimentar. Esses modelos ressaltam a importância da tecnologia, além disso, há uma concentração de pesquisas que associam a cibersegurança, mostrando ser um dispositivo seguro. Desse modo, denota que o *Blockchain* deve crescer nos próximos anos como uma ferramenta de transações.

A principal limitação da pesquisa seria seu caráter exploratório, limitando-se a uma revisão bibliométrica, ainda assim, esse tipo de estudo é comum sobre o assunto, tendo em vista sua recenticidade na comunidade científica. Para futuros estudos faz-se necessário a observação da adoção prática do *Blockchain* e algum contexto inexplorado.

## REFERÊNCIAS

- BODKHE, U.; TANWAR, S.; PAREKH, K.; KHANPARA, P.; TYAGI, S.; KUMAR, N.; ALAZAB, M. Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. **IEEE Access**, IEEE, v. 8, p. 79764–79800, 2020.
- BORLIDO, D. J. A. Indústria 4.0: Aplicação a sistemas de manutenção. 2017.
- BOTÊLHO, R. d. V. Medidor do consumo de energia. 2018.
- COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado), 2016.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. d. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 2011.
- CRUZ, F. B. da; MALUF, M. N.; CICHACZEWSKI, E. Iot computação na nuvem: o aproveitamento de sistemas legados para industria 4.0. **Caderno Progressus**, v. 1, n. 2, p. 49–64, 2021.
- ESMAEILIAN, B.; SARKIS, J.; LEWIS, K.; BEHDAD, S. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in industry 4.0. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier, v. 163, p. 105064, 2020.
- GUERON, S.; JOHNSON, S.; WALKER, J. Sha-512/256. In: IEEE. **2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations**. [S.l.], 2011. p. 354–358.
- HUANG, J.; KONG, L.; CHEN, G.; WU, M.-Y.; LIU, X.; ZENG, P. Towards secure industrial iot: Blockchain system with credit-based consensus mechanism. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, IEEE, v. 15, n. 6, p. 3680–3689, 2019.
- KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; ARHA, H. **Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2019. 2009–2033 p.
- KHAQQI, K. N.; SIKORSKI, J. J.; HADINOTO, K.; KRAFT, M. Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application. **Applied energy**, Elsevier, v. 209, p. 8–19, 2018.
- KOUHIZADEH, M.; ZHU, Q.; SARKIS, J. Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. **Production Planning & Control**, Taylor & Francis, v. 31, n. 11-12, p. 950–966, 2020.
- LIANG, W.; JI, N. Privacy challenges of iot-based blockchain: a systematic review. **Cluster Computing**, Springer, p. 1–19, 2021.
- LIN, C.; HE, D.; HUANG, X.; CHOO, K.-K. R.; VASILAKOS, A. V. Bsein: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0. **Journal of network and computer applications**, Elsevier, v. 116, p. 42–52, 2018.
- LONGO, F.; PADOVANO, A.; UMBRELLO, S. **Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: A human-centric perspective for the design of the factory of the future**. [S.l.]: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. 4182 p.
- LOVELL, D. **Part IV Chapter 24 HTTP**. 2021. Disponível em: <<https://almanac.httparchive.org/en/2021/http>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

MAESTRI, G.; BESSA, G. C.; OLIVEIRA, F. R.; STEFFENS, F. Revoluções tecnológicas e a relação com o setor têxtil: perspectivas baseadas em indústria 3.5, indústria 4.0 e indústria 5.0. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 13, 2021.

NAHAVANDI, S. **Industry 5.0—A human-centric solution**. [S.l.]: MDPI, 2019. 4371 p.

ÖZDEMİR, V.; HEKİM, N. **Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, “the internet of things” and next-generation technology policy**. [S.l.]: Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, 2018. 65–76 p.

PACCHINI, A. P. T.; SANTOS, J. C. da S.; LOGIUDICE, R.; LUCATO, W. C. **Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira**. 2020. 278–292 p.

PEREIRA, R.; SANTOS, N. dos. Indústria 5.0: reflexões sobre uma nova abordagem paradigmática para a indústria. 2012.

PETERS, M. D.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P.; MUNN, Z.; TRICCO, A. C.; KHALIL, H. *et al.* Chapter 11: scoping reviews (2020 version). **JBI manual for evidence synthesis, JBI**, v. 2020, 2020.

PINTO, C. M.; SANTOS, M. S.; SOARES, R. L.; DAVID, J. M. N.; BRAGA, R.; DANTAS, M. Uso de blockchain na indústria 4.0: Uso do hyperledger fabric no projeto fasten. In: SBC. **Anais da VII Escola Regional de Sistemas de Informação do Rio de Janeiro**. [S.l.], 2021. p. 56–63.

PISCHING, M. A. **Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na indústria 4.0**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.

REBELLO, G.; CAMILO, G.; SILVA, L.; SOUZA, L.; GUIMARÃES, L.; ALCHIERI, E.; GREVE, F.; DUARTE, O. Correntes de blocos: Algoritmos de consenso e implementação na plataforma hyperledger fabric. **Sociedade Brasileira de Computação**, p. 23, 2019.

REYNA, A.; MARTÍN, C.; CHEN, J.; SOLER, E.; DÍAZ, M. **On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities**. [S.l.]: Elsevier, 2018. 173–190 p.

RITCHIE, H.; MATHIEU, E.; RODÉS-GUIRAO, L.; APPEL, C.; GIATTINO, C.; ORTIZ-OSPINA, E.; HASELL, J.; MACDONALD, B.; BELTEKIAN, D.; ROSER, M. Coronavirus pandemic (covid-19). **Our World in Data**, 2020. <https://ourworldindata.org/coronavirus>.

RODRIGUES, T. M. de S.; YOSHINO, R. T. Blockchain aplicado a supply chain. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28166–28178, 2021.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. [S.l.]: Edipro, 2019.

SIKORSKI, J. J.; HAUGHTON, J.; KRAFT, M. **Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market**. [S.l.]: Elsevier, 2017. 234–246 p.

SILVA, D. G. d. **Indústria 4.0: conceito, tendências e desafios**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

SILVA, F. B. da; MARTINS, D. F. G.; HENRIQUES, M. A. A. Proposta de avaliação do desempenho de um mecanismo de consenso probabilístico baseado em proof-of-stake para blockchains públicas. In: SBC. **Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais**. [S.l.], 2021. p. 264–271.

SILVA, J. G. d. **Dispositivo para conexão a redes IoT para indústria 4.0**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

SOARES, M.; COUTINHO, Í.; NETO, M. T. R. Interação entre iiot e indústria 4.0 com a gestão de projetos. **Percursos Acadêmicos**, v. 10, n. 19, p. 1–13, 2020.

TANWAR, S.; PAREKH, K.; EVANS, R. Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. **Journal of Information Security and Applications**, Elsevier, v. 50, p. 102407, 2020.

TRUNOVATE. **What is Industry 4.0 and Why is it Important?** 2019. Disponível em: <<https://trunovate.com/blog/what-is-industry-4-0-and-why-its-important/>>. Acesso em: 28 DE SETEMBRO DE 2022.

UHDRE, D. d. C. **Blockchain, tokens e criptomoedas: análise jurídica**. [S.l.]: Grupo Almedina, 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. [S.l.]: Gulf Professional Publishing, 2004.

ZHAO, G.; LIU, S.; LOPEZ, C.; LU, H.; ELGUETA, S.; CHEN, H.; BOSHKOSKA, B. M. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. **Computers in Industry**, Elsevier, v. 109, p. 83–99, 2019.