



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Bruno César de Andrade Vicente

Um estudo da tecnologia *blockchain* e seu papel na Indústria 4.0

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2023

Bruno César de Andrade Vicente

Um estudo da tecnologia *blockchain* e seu papel na Indústria 4.0

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheira(o) de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. D.Sc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Coorientador: Prof. M.Sc. Arthur Caio Vargas e Pinto

Ouro Preto

2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruno César de Andrade Vicente

Um estudo da tecnologia blockchain e seu papel na Indústria 4.0

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro

Aprovada em 13 de março de 2023

Membros da banca

D.Sc. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
M.Sc. Arthur Caio Vargas e Pinto - Coorientador - Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Itabirito
D.Sc. Adrielle de Carvalho Santana - Universidade Federal de Ouro Preto
M.Sc. Fernando dos Santos Alves Fernandes - Universidade Federal de Ouro Preto

Karla Boaventura Pimenta Palmieri, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Karla Boaventura Pimenta Palmieri, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/03/2023, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0490450** e o código CRC **926CB6D3**.

Resumo

Atualmente a Indústria 4.0 é um conceito que engloba diversas tecnologias como: *big data*, internet industrial das coisas (IIoT), robótica e veículos autônomos, impressão 3D, cadeia de suprimentos, cibersegurança, entres outros, com o objetivo de melhorar a eficiência e produtividade nos processos. Para todas aplicações mencionadas, segurança e privacidade são as principais preocupações tendo em vista o meio de comunicação aberto, ou seja, utilização da internet para transferência de dados. Embora as soluções existentes sejam baseadas na arquitetura centralizada (com ponto único de falha), uma das tecnologias mais recentes que promete mitigar tal problema é o *blockchain*, que possui uma arquitetura descentralizada (comunicação de ponto a ponto), capaz de agregar confiança, segurança e imutabilidade de informação a diversas áreas industriais. Este trabalho objetivou realizar um estudo sobre tal tecnologia, mostrando a sua origem, principais características e seu funcionamento de uma forma geral, além de apresentar a sua aplicação em alguns segmentos da Indústria 4.0. Ao final foi possível observar como a rastreabilidade e a descentralização de informações pode agregar valor para empresas e beneficiar os usuários.

Palavras-chave: *Blockchain*; Indústria 4.0; Arquitetura descentralizada.

Abstract

Currently, industry 4.0 is a concept that encompasses several technologies such as: *big data*, industrial internet of things (IIoT), robotics and autonomous vehicles, 3D printing, supply chain, cybersecurity, among others, with the aim of improving efficiency and productivity in the processes. For all mentioned applications, security and privacy are the main concerns in view of the open means of communication, that is, the use of the internet for data transfer. Although existing solutions are based on centralized architecture (with single point of failure). One of the most recent technologies that promises to mitigate this problem is the *blockchain*, which has a decentralized architecture (point-to-point communication), capable of adding trust, security and immutability of information to various industrial areas. This work aimed to carry out a study on this technology, showing its origin, main characteristics and its operation in general, in addition to presenting its application in some segments of the 4.0 industry, its benefits and challenges to be faced. In the end, it was possible to observe how traceability and decentralization of information can add value to companies and benefit users.

Key-words: *Blockchain*; Industry 4.0; Decentralized architecture.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Principais tecnologias da Indústria 4.0.	9
Figura 2 – Tendências da transformação digital: (a) Estatísticas de tráfegos de dados por mês e por região; (b) Despesas em termos de aplicação na Indústria 4.0.	10
Figura 3 – Aumento do roubo de identidade.	11
Figura 4 – Modelo de estrutura de rede cliente-servidor e rede <i>peer-to-peer</i> (P2P).	17
Figura 5 – Criptografia Simétrica.	18
Figura 6 – Criptografia Assimétrica.	18
Figura 7 – Função <i>Hash</i> Criptográfica.	19
Figura 8 – Representação de <i>hash</i> em blocos.	20
Figura 9 – Exemplo de cadeia de registros.	22
Figura 10 – Evolução da arquitetura de comunicações: (a) Fábrica moderna. (b) Fábrica inteligente da Indústria 4.0.	27

Lista de abreviaturas e siglas

IIot	Internet Industrial das Coisas
P2P	Ponto a Ponto
DDoS	Ataque de Navegação de Serviço Distribuído
ARP	Protocolo de Resolução de Endereço
DES	Data Encryption Standard
DEA	Data Encryption Algorithm
INE	Instituto Nacional de Estatística
AR	Realidade Aumentada
ICPS	Sistemas Ciber-Físicos Industriais
DApps	Aplicativos Descentralizados
AGVs	Robôs ou Veículos Terrestres Autônomos
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
RFID	Identificação por Radiofrequência
HDG	Healthcare Data Getway
ESG	Governança Ambiental Social e Corporativa

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos gerais e específicos	11
1.2	Justificativas e Relevância	12
1.2.1	Metodologia	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Uma breve história do <i>blockchain</i>	15
2.2	A <i>blockchain</i> e seus princípios básicos	16
2.3	Descentralização	16
2.4	Criptografia	17
2.5	Função <i>Hash</i>	18
2.6	<i>Timestamp</i> (servidor de carimbo de tempo)	20
2.7	Algoritmo de Consenso	20
2.7.1	O Problema dos Generais Bizantinos	21
2.7.1.1	Proof Of Work - PoW (Prova de Trabalho)	21
2.7.1.2	Proof Of Stake - PoS (Prova de Participação)	21
2.8	Funcionamento <i>Blockchain</i>	22
2.8.1	Pilares da Tecnologia <i>Blockchain</i>	23
2.8.1.1	Descentralização do armazenamento	23
2.8.1.2	Segurança das operações realizadas	23
2.8.1.3	Integridade dos dados	23
2.8.1.4	Imutabilidade de transações	24
2.9	Modelos de redes <i>blockchain</i>	24
2.9.1	Permissionado privado	24
2.9.2	Permissionado público	24
2.9.3	Não-permissionado	24
2.10	Transações na <i>blockchain</i>	25
3	DESENVOLVIMENTO	26
3.1	<i>Blockchain</i> e a Indústria 4.0	26
3.2	Aplicações de <i>blockchain</i> na Indústria 4.0	27
3.2.1	<i>Big Data</i> e Análise de Dados	27
3.2.2	Internet Industrial das Coisas - IIoT	28
3.2.3	Robôs e Veículos Autônomos	28
3.2.4	Fabricação de Aditivos (Impressão 3D)	29
3.2.5	Cadeia de Suprimentos Descentralizada	29

3.2.6	Cibersegurança	30
3.2.7	Sistema de Produção Cyber-Físico ICPS	30
4	RESULTADOS	32
4.1	Empresas que já utilizam <i>blockchain</i>	34
4.1.1	<i>Blockchain</i> e seu uso como estratégia do Governo Digital no Brasil	34
4.1.2	<i>Blockchain</i> e sua utilidade na área da saúde	36
4.1.3	Carrefour e o uso de <i>blockchain</i> na cadeia de alimentos	37
4.1.4	Plataforma verde <i>software</i> para gestão de resíduos industriais	38
4.1.5	Rastreando as emissões de carbono da mineração com <i>blockchain</i>	39
5	CONCLUSÃO	41
5.1	Trabalhos futuros	42
	Referências	43

1 Introdução

Atualmente a Indústria 4.0 é considerada o próximo passo da evolução das indústrias e fábricas tradicionais para as indústrias e fábricas inteligentes, que basicamente buscam ser mais eficientes e altamente flexíveis para adequação das demandas de produção cada vez mais exigente pelo mercado (MUNERA et al., 2015). Um dos princípios da Indústria 4.0 consiste em agrupar o maior número de dados possíveis das mais diversas partes da cadeia de valor. Esses dados são úteis para tomada de decisão eficiente dentro das fábricas. A coleta desses pode ser feita por meio de sistemas que permitem a aquisição, armazenamento, processamento e troca de informações com outros dispositivos, com a finalidade de se ter um alto nível de conectividade. A Indústria 4.0 visa usar tecnologias disruptivas (LIMA, 2022) que permitem essa comunicação autônoma entre os dispositivos que estão em chão de fábrica. Algumas dessas tecnologias são: robôs autônomos, realidade aumentada, *big data*, manufatura aditiva, computação em nuvem, integração de sistemas, cibersegurança, simulação de *software* e internet das coisas, como pode ser observado na Figura 1. É relevante mencionar também que a aplicação de tais tecnologias é uma evolução da arquitetura de comunicação das fábricas atuais que se baseiam em um sistema centralizado em nuvem, para uma arquitetura onde todas as partes envolvidas no processo industrial troquem informações em uma rede com arquitetura descentralizada ou o que chama-se de rede *peer-to-peer* (P2P)(FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019).

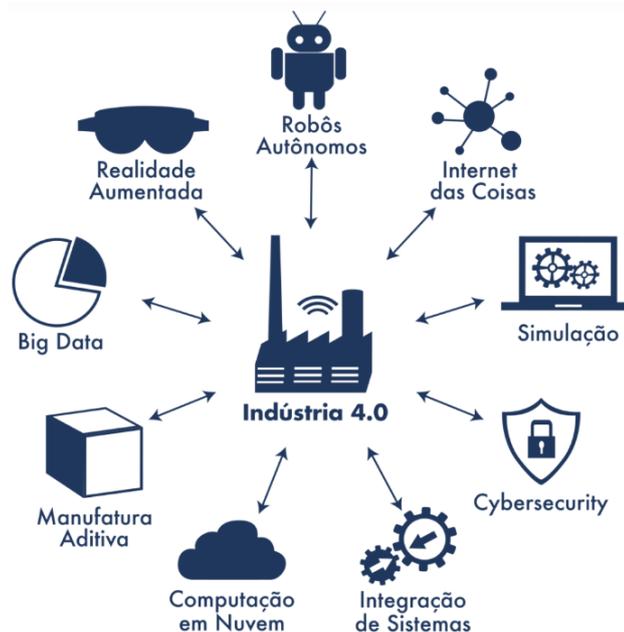


Figura 1 – Principais tecnologias da Indústria 4.0.

Fonte: Doutor IoT (2023).

Uma das tecnologias mais propícias para aplicação em ambientes industriais é o *blockchain*, que surgiu da criptomoeda *Bitcoin* (NAKAMOTO, 2008), e que possibilita a criação de várias aplicações capazes de rastrear e armazenar transações realizadas por um grande número de usuários e dispositivos simultâneos. Levando em consideração o uso cada vez mais frequente dos *smartphones* e aplicativos inteligentes voltados para atividades profissionais, pessoais e sociais, pode-se afirmar que isso gera um crescimento com intensidade tanto no tráfego de dados da rede, (em GBs) quanto nos gastos totais (em bilhões de dólares) como pode ser observado na Figura 2 (a), de acordo com relatório publicado por Bodkhe, Tanwar et al. (2020). De acordo com a pesquisa, as indústrias gastariam mais de US\$ 40 bilhões em IoT até o ano de 2020 em diversos setores conforme Figura 2 (b), representando uma das tendências da transformação digital, dentre eles manufatura e transporte. Contudo, levando em consideração o grande aumento da troca de dados pela internet, assegurar a integridade, confidencialidade e privacidade são pontos muito importantes para a Indústria 4.0 (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019). Além do mais, segundo as pesquisas realizadas por Bodkhe, Tanwar et al. (2020) quase 60 milhões de pessoas são afetadas por desvio de suas identidades e 12 bilhões de registros de pessoas foram usados injustamente em 2018 e esse número devem crescer para 33 bilhões até 2023, conforme mostrado na Figura 3.

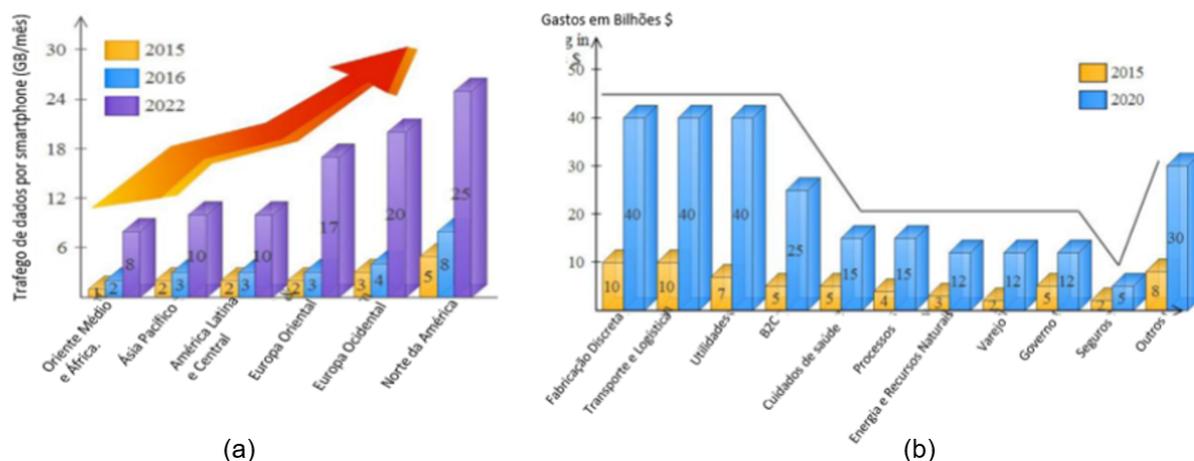


Figura 2 – Tendências da transformação digital: (a) Estatísticas de tráfegos de dados por mês e por região; (b) Despesas em termos de aplicação na Indústria 4.0.

Fonte: Bodkhe, Tanwar et al. (2020).

Dessa forma, percebe-se que a segurança e preservação de privacidade são pontos de atenção para aplicações da Indústria 4.0 (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019), (MAKHDOOM et al., 2019), devido a chance de ocorrer violação de dados não autorizados ou vazamentos de informações gerando perdas financeiras. Na falta de uma arquitetura de segurança mais robusta, todo o sistema em conjunto com os dados podem vir a sofrer diversos tipos de ataques (como DDoS, *phishing*, congestionamento de rede, ataques de falsificação de ARP, etc) que têm grande potencial de arruinar a integridade e a

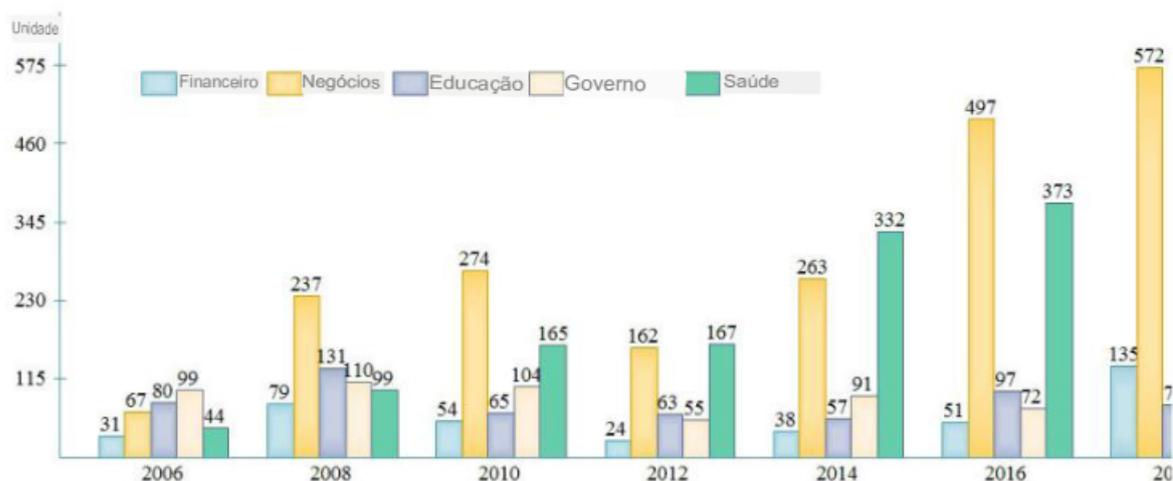


Figura 3 – Aumento do roubo de identidade.

Fonte: Bodkhe, Tanwar et al. (2020).

confidencialidade dos dados e prejudicar o funcionamento de qualquer sistema (BODKHE; TANWAR et al., 2020). Para minimizar esses e outros tipos de ameaças, as soluções usuais das indústrias utilizam uma arquitetura centralizada, baseada em cliente-servidor, onde a autoridade central obtém todas as preferências, entretanto, caso a autoridade central seja comprometida, todo o sistema poderá falhar.

A tecnologia *blockchain* tem a capacidade de lidar com diversos tipos de ataques, visto que, pode retirar a necessidade de uma autoridade central que realiza várias operações. Com o *blockchain*, diversos usuários participam da validação e verificação de transações (ZHAO, G. et al., 2019) (MUZAMMAL; QU; NASRULIN, 2019). *Blockchain* usa um banco de dados distribuído estruturalmente que guarda os dados com criptografia utilizando diversas verificações, como a árvore de *hash* de Merkle (MHT) (MUZAMMAL; QU; NASRULIN, 2019). As transações são relacionadas com chaves criptográficas e livros-razão imutáveis, o que dificulta a manipulação ou exclusão de informações registradas por invasores. Esses dados são sempre registrados de forma imutável utilizando *timestamps*, auditoria pública e mecanismos de consenso (MINGXIAO et al., 2017) (BODKHE; MEHTA et al., 2020). A utilização desses artifícios torna a arquitetura de segurança robusta e garante a privacidade e integridade dos dados (HIRSH et al., 2018).

1.1 Objetivos gerais e específicos

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral realizar um estudo sobre a tecnologia *blockchain*, mostrando a sua origem, descrever as suas principais características e seu funcionamento de forma geral.

Por objetivos específicos, o trabalho busca:

- Apresentar exemplos da aplicação do *blockchain* em geral e em alguns segmentos da Indústria 4.0;
- Apresentar os principais benefícios que a tecnologia pode trazer para a Indústria 4.0;
- Identificar desafios a serem enfrentados no uso de *blockchain* na Indústria 4.0.

1.2 Justificativas e Relevância

Com o advento da Indústria 4.0, as empresas estão procurando maneiras de melhorar seus processos produtivos, aumentar a eficiência e reduzir custos. Nesse contexto, a tecnologia *blockchain* tem se mostrado uma solução promissora, uma vez que oferece um ambiente seguro e transparente para a gestão e compartilhamento de informações em redes descentralizadas.

No entanto, a literatura atual apresenta uma falta de compreensão sobre como a tecnologia *blockchain* pode ser aplicada efetivamente na Indústria 4.0. Por conseguinte, uma monografia que se propõe a estudar esse tema pode contribuir significativamente para o avanço do conhecimento científico ao examinar o papel da tecnologia *blockchain* na Indústria 4.0 e fornecer *insights* sobre como essa tecnologia pode melhorar a eficiência e transparência dos processos industriais.

Ademais, a monografia pode avaliar os desafios e obstáculos que as empresas podem enfrentar ao adotar a tecnologia *blockchain* em seus processos, bem como as estratégias que podem ser adotadas para superá-los. Por fim, a pesquisa pode fornecer informações valiosas para pesquisadores, profissionais e empresas interessados em aplicar a tecnologia *blockchain* na Indústria 4.0.

1.2.1 Metodologia

Como bem assegura [Marconi e Lakatos \(2003\)](#), pode-se dizer que a pesquisa, é um procedimento para investigação de fenômenos que visa ampliar o conhecimento e por meio deste gerar pensamento reflexivo. Neste contexto, fica claro que possibilita investigar a realidade em busca de novos conhecimentos. O mais preocupante, contudo, é constatar que o planejamento pode ser muito difícil e penoso.

Segundo [Marconi e Lakatos \(2003\)](#) a pesquisa “Estuda um problema relativo ao conhecimento científico ou à sua aplicabilidade.”. Devido a fins de ampliar uma área de conhecimento essa pesquisa se enquadra na natureza básica de revisão bibliográfica.

Para [Gil et al. \(2002\)](#) a pesquisa exploratória tem como base fontes literárias. Neste contexto, fica claro que sua busca é aprofundada e busca por conteúdo relevante dentro de um tema.

A pesquisa se classifica como exploratória devido ao envolvimento investigativo profundo em literatura. A base desta pesquisa foi: livros, sites, artigos, revistas para complementar a ideia central.

Conforme verificado por [Gil et al. \(2002\)](#) a forma de abordagem qualitativa tem como base a interpretação do pesquisador. Trata-se inegavelmente de uma pesquisa mais aceitável. Seria um erro, porém, atribuir todo esse crédito apenas a essa forma de abordagem. Assim, reveste-se de particular importância a abordagem quantitativa que faz uso de métricas estatísticas como instrumentos de medidas. O método de análise escolhido foi hipotético-dedutivo devido a pesquisa girar em torno de uma hipótese e problema.

Pode-se dizer que o levantamento bibliográfico busca fontes baseadas em toda a literatura. Neste contexto, para [Marconi e Lakatos \(2003\)](#) fica claro que um levantamento tem como base a limitar quais são as fontes de busca para a pesquisa. O mais preocupante, contudo, é constatar que há uma limitação para sua busca dentro de um contexto literário.

Essa pesquisa tem como procedimentos de coleta de dados fontes em livros, sites, periódicos e outras fontes de dados. Nesse caso, a pesquisa usará a literatura como base para um novo conhecimento.

Como ferramenta para arrecadação de dados literários, utilizou-se alguns resumos por meio de fichamentos, baseando-se em artigos de grande relevância sobre o assunto, com o objetivo de se obter um melhor aproveitamento do conteúdo difundido nesse trabalho. Com essa forma de resumo é possível engrandecer as informações mais interessantes sobre o tema que foi uma das fontes de dados para a revisão da literatura.

De acordo com [Marconi e Lakatos \(2003\)](#), os principais tipos de documentos são:

- A) Fontes Primárias - dados históricos, bibliográficos e estatísticos; informações, pesquisas e material cartográfico; arquivos oficiais e particulares; registros em geral; documentação pessoal (diários, memórias, autobiografias); correspondência pública ou privada;
- B) Fontes Secundárias - imprensa em geral e obras literárias.

Esse trabalho teve como sustentação dados que já se encontram disponíveis para consulta, pois já foram artefatos de estudo e análise (livros, teses, artigos e etc). Por esse motivo classificam-se como fontes secundárias.

A pesquisa teve o embasamento em 42 artigos, 5 livros e 1 tese de mestrado com foco nos autores Umesh Bodkhe, Fernandez Camares e Fábio Maçoli devido a relevância dos trabalhos publicados e conhecimento no assunto abordado. O primeiro fichamento obteve-se um bom entendimento sobre as considerações iniciais a cerca do tema, com o texto dos autores Munera e Fernandez Camares, com intenção de compreender melhor como a tecnologia *blockchain* poderia ser utilizada em outros setores da Indústria 4.0.

A população do estudo foi composta por toda literatura relacionada ao tema de estudo, indexada nos bancos de dados, google acadêmico, biblioteca digital, IEEE, entre outros. Quanto à amostra, os artigos foram selecionados a partir da variável de interesse, que seria a transparência e rastreabilidade, analisando o impacto do *blockchain* nos processos da Indústria 4.0 que totalizou 39 artigos.

A seleção foi realizada a partir de leitura criteriosa dos artigos, livros, teses e dissertações encontradas nas bases de dados, sendo selecionado apenas a literatura que atendia aos critérios de inclusão definidos neste estudo, que nesse caso seria, artigos ou estudos que discutem a aplicação da tecnologia *blockchain* na Indústria 4.0 ou setores relacionados. Foram incluídas apenas publicações que responderam à questão do estudo, publicadas no período de 2005 a 2023, nos idiomas inglês e português.

A pesquisa possui um grau de confiabilidade baseado na autoridade e relevância dos autores escolhidos. Uma vez que a apresentação dos resultados tem base em 42 artigos e 5 livros de literatura considerados importantíssimos para o tema do estudo referido. No Capítulo 1 é possível perceber como o autor Umesh Bodkie deixa seu conceito de forma clara, onde foi possível por meio do mesmo, realizar um bom embasamento e credibilizar ainda mais o estudo. Também Fábio Maçoli, William Stallings perpetuam conceitos no Capítulo 2 do estudo, bem como Erikson Aguiar apresentou ótimos embasamentos que possibilitaram argumentos claros e fortes para o tema da pesquisa. No Capítulo 4, foi apresentado toda parte de aplicação da tecnologia *blockchain* em alguns setores da Indústria 4.0. E, por fim, no Capítulo 5, foi apresentado os resultados e algumas empresas que já utilizam a tecnologia.

Para atingir esse objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados do IEEE, do Google acadêmico, trabalhos apresentados em conferências, congressos, simpósios, além de sites e livros para embasamentos teóricos, utilizando as palavras-chave como, “*Blockchain* e Indústria 4.0”, “Impactos da *blockchain* na indústria”, “Aplicações da tecnologia *blockchain*”, “*Blockchain* além das criptomoedas”, entre outros. Foram incluídos na revisão somente os estudos publicados em periódicos científicos nos últimos dezessete anos. Além de um curso específico sobre a tecnologia estudada, com a proposta de coletar informações mais relevantes sobre os principais benefícios e os desafios que as empresas podem enfrentar na implementação dessa tecnologia.

2 Referencial teórico

2.1 Uma breve história do *blockchain*

Tudo teve início em 1494 com um padre chamado Luca Pacioli que, na época, queria produzir um balanço de ativos tangíveis e intangíveis, apresentando de um jeito ordenado e com todos os detalhes as várias operações de crédito, débito e a composição do balanço final. Daí surge a palavra principal por trás do *blockchain*, “*ledger*”, que significa livro-razão (ITFORUM, 2022).

Após a chegada da internet no mundo, um fator que ganhou atenção e relevância foi exatamente a aplicação de segurança por meio deste canal de comunicação. Isso foi um problema que veio crescendo desde então com o aumento de transações que começaram a surgir do uso da rede de computadores, que, com o passar do tempo, se tornou um grande mecanismo para realizar compras e fazer transações.

Para resolver esse tipo de problema, um pesquisador da IBM, Horst Feisel, em 1971, desenvolveu um algoritmo de criptografia que tinha um elevado nível de segurança. Trata-se de uma chave de codificar e decodificar. Esse algoritmo deu origem ao termo *Data Encryption* que, em 1981, após melhorias, passou a ser denominado *Data Encryption Algorithm (DEA)*, com a finalidade de gerar padronização de cifragem e mecanismos para as instituições financeiras utilizarem (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

Apesar dos esforços, esse algoritmo não promovia a segurança necessária para evitar fraudes e vazamentos de informações com transações pela internet, porém, no ano de 1983, David Chaum, que era entusiasta e cientista em criptografia, criou uma empresa de moeda eletrônica criptografada, que tinha a finalidade de prover aos usuários moedas digitais de um determinado banco que não pudessem ser rastreadas nem pelo banco e nem por nenhuma outra pessoa. Chaum ainda colaborou com outros trabalhos e propôs sistemas *peer-to-peer* (ponto a ponto) com criptografia e segurança. A solução era tão completa que as empresas de tecnologia da época queriam adquiri-la. Um de seus sócios desenvolveu a pesquisa referente a contratos digitais e, em 2005, Nick Szabo criou um procedimento inovador para tratamento de moeda digital que em 2008 foi precursor do famoso *Bitcoin*. Esta moeda virtual utiliza a plataforma *blockchain* para suas transações, e foi lançada por Nakamoto Satoshi, (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

2.2 A *blockchain* e seus princípios básicos

Blockchain é um livro-razão compartilhado e distribuído que facilita o processo de registro de transações e rastreamento de ativos em uma rede comercial. Um bem pode ser tangível - uma casa, um carro, dinheiro, terra - ou intangível - propriedade intelectual, como patentes ou direitos autorais. Praticamente qualquer coisa de valor pode ser rastreada e negociada em uma rede de blocos, reduzindo riscos e também os custos para todos os envolvidos (GUPTA, 2018).

A palavra “*blockchain*” significa literalmente “cadeia de blocos” e é uma tecnologia para uma nova geração de aplicações transacionais que estabelece confiança, prestação de contas e transparência enquanto simplifica de forma eficiente os processos de negócio. É como um banco de dados distribuído, sendo praticamente invulnerável a falhas e adulterações, e as múltiplas utilidades descolam-se da tecnologia da criptomoeda *Bitcoin* – para a qual foi criada. Antes do desenvolvimento da tecnologia *blockchain*, os registros contábeis eram mantidos em bancos de dados centralizados e não-públicos. As pessoas precisavam confiar na idoneidade do banco de dados para ter certeza de que não haveria nenhuma alteração nos registros (saldos e transações da conta). Com o *blockchain*, os dados são distribuídos entre todos os participantes da rede, que são chamados geralmente de nós (*nodes*, em inglês). Cada nó é um computador que faz parte da rede, mantendo uma cópia do registro descentralizado (*ledger*) e validando transações com total transparência. Torna-se, portanto, desnecessário confiar em uma terceira pessoa para que os dados contábeis sejam registrados corretamente e não haja perigo de fraudes (SIMPLY, 2022).

2.3 Descentralização

A descentralização do *blockchain* vem da arquitetura de uma rede denominada *peer-to-peer* (ponto a ponto) conforme Figura 4 (b). Esse formato se refere à disposição dos computadores interligados nessa rede, onde cada computador conectado faz as tarefas de cliente e servidor ao mesmo tempo, tornando o sistema independente de um único servidor centralizado que detenha todos os arquivos (OFICINA DA NET, 2022). O principal objetivo é a transmissão e compartilhamento de arquivos em larga escala de forma descentralizada, em que cada computador dessa rede é denominado de nó da rede. Esse nó pode compartilhar dados com vários outros nós conectados, desse modo, os participantes são responsáveis pelo armazenamento e por manter a base de dados existentes (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

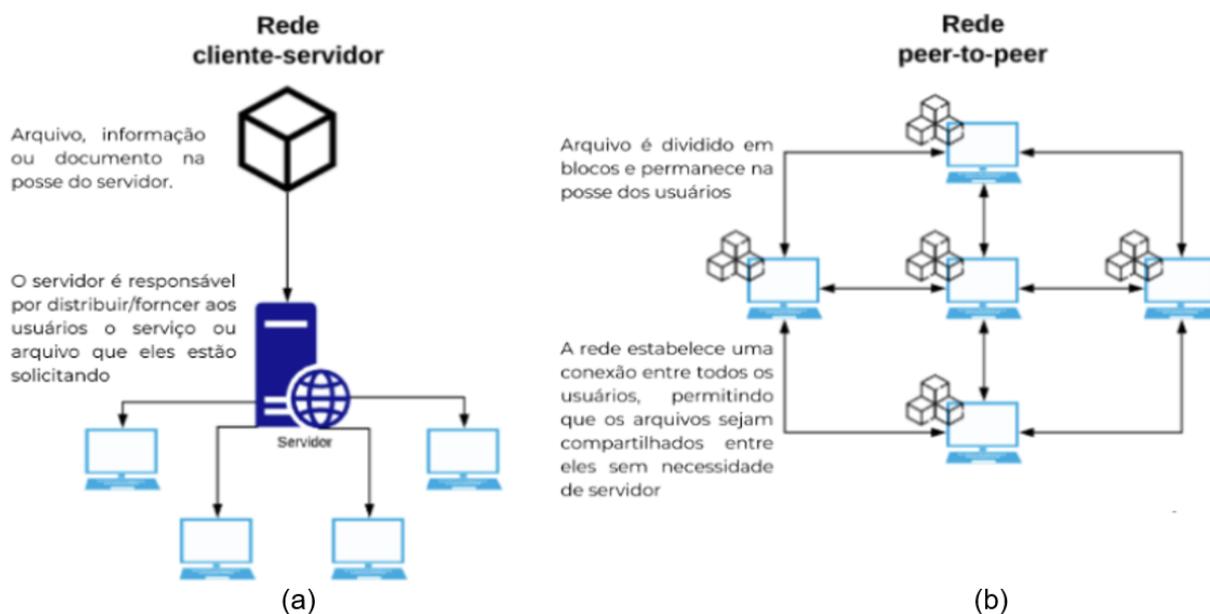


Figura 4 – Modelo de estrutura de rede cliente-servidor e rede *peer-to-peer* (P2P).

Fonte: [Voitto \(2022\)](#).

2.4 Criptografia

Para entender o funcionamento do *blockchain*, um bom começo seria compreender a parte de codificação, tendo em mente que, é a parte da arquitetura da referida tecnologia que se baseia em segurança e codificação de dados. Segundo [Jesus Bezerra \(2010\)](#), “A Criptologia é a arte ou a ciência de escrever em cifra ou em código”. Em outras palavras, ela abarca o conjunto de técnicas que permitem tornar incompreensível uma mensagem originalmente escrita com clareza, de forma a permitir normalmente que apenas o destinatário a decifre e a compreenda. Dessa forma, tem-se como definição que se trata de um conjunto de técnicas que promovem o embaralhamento, ou seja, a codificação das palavras para que elas não permitam sua leitura caso sejam interceptadas.

Atualmente quando se fala em criptografia de dados, basicamente existem dois tipos, a criptografia de chave simétrica, também conhecida como criptografia de chave única e a de chave assimétrica, denominada também de criptografia de chave pública, sendo que as chaves criptográficas são baseadas em algoritmos que codificam a mensagem. Nesse aspecto mensagens criptografadas só podem ser descriptografadas com o código certo ([MAÇOLI, FÁBIO, 2022](#)).

Na criptografia de chave única, como o próprio nome já diz, utiliza-se uma chave para criptografar os dados, isto é, codificá-los, e posteriormente utiliza-se essa mesma chave para descriptografá-los, ou seja, decodificá-los, conforme mostra a Figura 5. Por esse sistema possuir apenas uma chave que é partilhada entre emissor e receptor esse procedimento se torna um tipo de criptografia mais simples ([PPLWARE, 2022](#)).

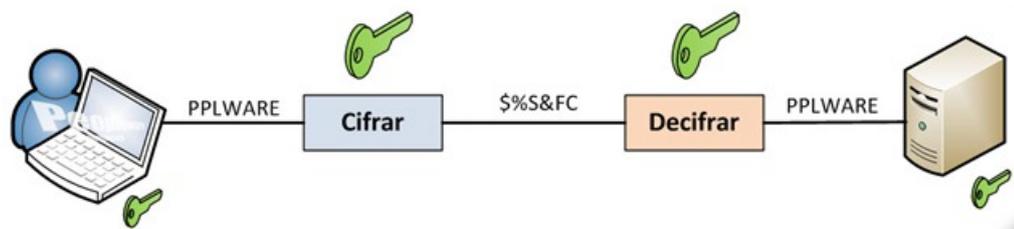


Figura 5 – Criptografia Simétrica.

Fonte: Pplware (2022).

Já na criptografia de chave pública, são utilizadas duas chaves diferentes: a pública, que pode ser divulgada, e a privada, que será mantida em sigilo pelo seu dono (MAÇOLI, FÁBIO, 2022). A chave pública é utilizada para codificar os dados e a chave privada é utilizada para decodificá-los conforme Figura 6. Em comparação com a criptografia simétrica, esse modelo, por ser mais robusto, tende a ser mais lento, necessitando de um poder computacional maior. Porém, implementa maior confiabilidade, garantindo a segurança no tráfego de informações (PPLWARE, 2022).

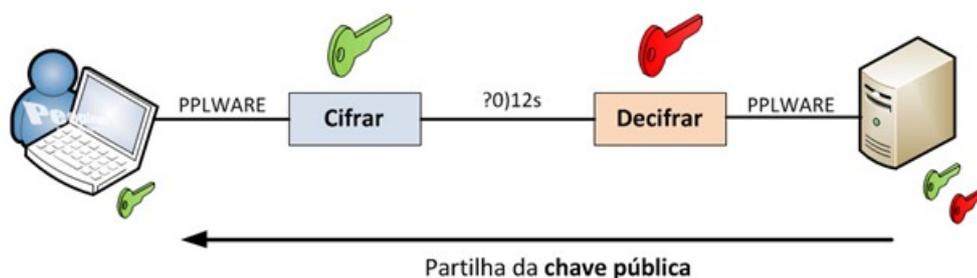


Figura 6 – Criptografia Assimétrica.

Fonte: Pplware (2022).

2.5 Função Hash

Segundo Stallings (2006) uma função *hash* aceita uma mensagem de tamanho variável M como entrada e gera um valor de *hash* de tamanho fixo $h = H(M)$. Basicamente, o conceito teórico do *hash* é a conversão de uma quantidade de dados variável, por meio de um algoritmo matemático, em uma sequência de *bits*, reproduzida em base hexadecimal. Geralmente o valor *hash* é formado por 16 *bytes*, atestando dessa forma a integridade dos dados. Em outras palavras, é realizado um cálculo matemático de uma base de dados e cedido a essa base um número hexadecimal, conforme exibido na imagem 7. De modo que, se houver alguma alteração dessa base de dados, no instante do cálculo do *hash* haverá uma incompatibilidade, apontando que os dados foram alterados (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

O tipo de função de *hash* necessária para aplicações de segurança é conhecido como função de *hash* criptográfica. Ela é um algoritmo para o qual é computacionalmente inviável

descobrir um objeto de dados que seja mapeado para um resultado de *hash* pré-especificado (STALLINGS, 2006). Alguns exemplos de algoritmos de *hash* são: MD4 -> 128 *bits*; MD5 -> 128 *bits*; SHA-1 -> 160 *bits*. Então, o *hash* pode ser igualado a um dígito verificador, gerando dessa forma, uma técnica que pode assegurar a autenticidade da uma informação e até mesmo uma base grande de dados, assegurando assim a integridade e a autenticidade das informações (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

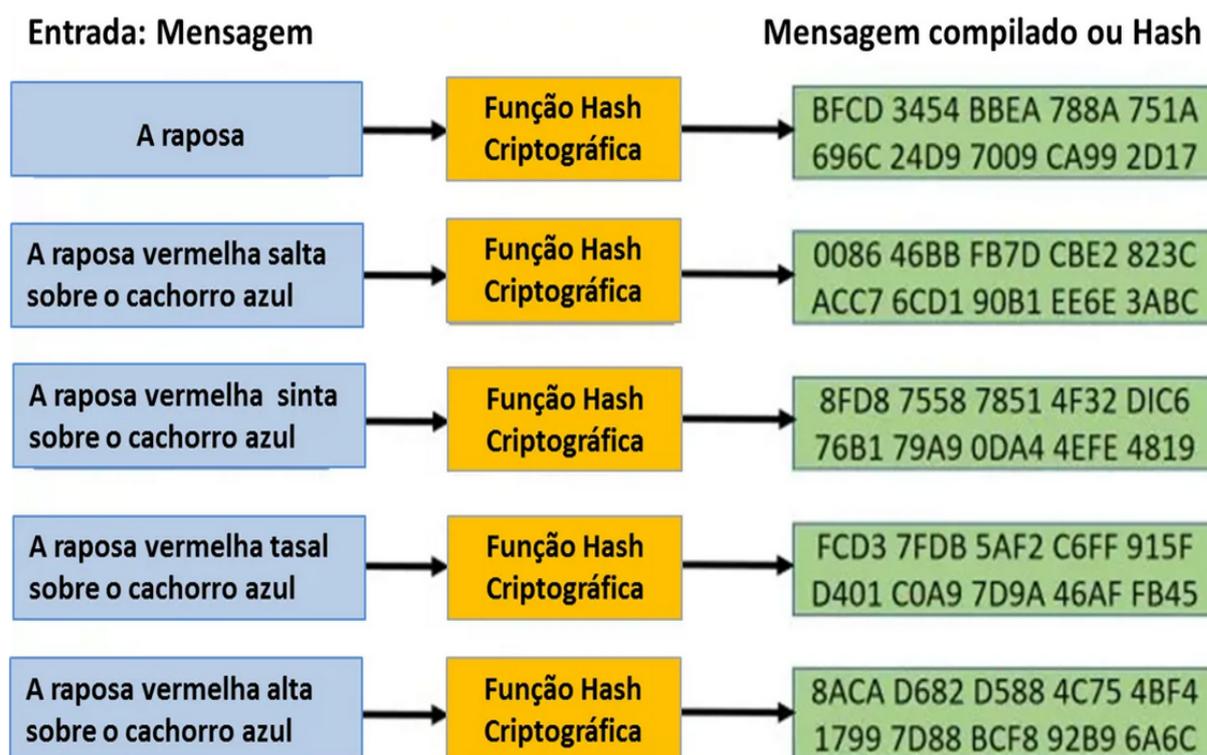


Figura 7 – Função *Hash* Criptográfica.

Fonte: Criptonoticias (2022).

A tecnologia *blockchain* utiliza-se da função *hash* em cada bloco processado, e todos os outros blocos que serão processados se baseiam no *hash* do bloco anterior, fazendo esse processo sucessivamente, fazendo com que a “cadeia de blocos” seja interligada, garantindo, assim, a integridade total das informações dentro de cada bloco. Isto significa que, se qualquer informação for alterada em um desses blocos, o *hash* irá apresentar uma divergência com os blocos antecessores e sucessores, gerando uma inconsistência na ligação entre os blocos, e é exatamente esse procedimento que garante a confiabilidade do *blockchain* (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

2.6 *Timestamp* (servidor de carimbo de tempo)

Um ponto importante para se compreender dentro da estrutura de blocos da rede é o conceito de *timestamp*, que também é conhecido como carimbo de tempo. O *timestamp*, registra a data e a hora da transação, que influencia na geração do próximo código *hash*. Como os blocos são entrelaçados entre si, pode-se entender como a rede processa o tempo entre eles para definir a prioridade, com o objetivo de evitar o gasto duplo. *Nakamoto*, propôs o que chamou de servidor de carimbo de tempo (*timestamp server*) (SILVA, 2018).

Basicamente, o *timestamp* funciona do seguinte modo: o servidor captura o *hash* de um bloco de transações processando o carimbo de tempo e depois publica o *hash* para todos os nós da rede. Esse carimbo de tempo é o que garante que os dados existam naquele exato instante, conforme mostra a Figura 8. Dessa forma, para aumentar a credibilidade dos blocos anteriores, o bloco atual contém o *hash* do bloco anterior em seu próprio *hash* (SILVA, 2018).

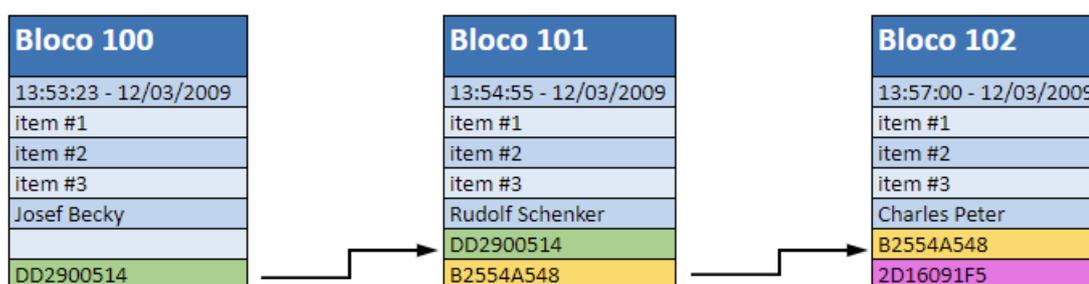


Figura 8 – Representação de *hash* em blocos.

Fonte: Autoria própria.

2.7 Algoritmo de Consenso

O processo de adição de blocos na rede *blockchain* é acertado e validado pela maioria dos nós da rede. Esse processo de acordo é chamado de consenso da cadeia. Se a maior parte dos nós concordam com um consenso comum, então esse bloco é acrescentado à cadeia existente, caso contrário, ele é retirado e descartado. O consenso no *blockchain* forma uma verdade acordada entre todas as partes interessadas, o que agrega confiança no ambiente descentralizado por meio de canais abertos (BODKHE; MEHTA et al., 2020).

Para entender de forma mais clara, esse consenso funciona da seguinte forma: quando algum dado entra na rede, ele precisa ser armazenado em bloco. O nó que irá armazená-lo precisa realizar os processos de validação a partir do algoritmo de sua rede com suas regras pré-estabelecidas, pois existem vários tipos de mecanismos de consenso. Assim que ele valida, todos os outros nós da rede precisam aprovar e realizar as cópias

desse dado, “dando corpo” ao bloco. Assim que terminado esse procedimento, o mesmo é fechado e armazenado definitivamente na rede *blockchain* (OLHAR DIGITAL, 2022).

Segundo Bodkhe, Mehta et al. (2020) algoritmos de consenso garantem que cada bloco adicionado na cadeia existente seja por meio da participação de todos os nós (computadores) na rede. Isso gera transparência nas transações agregadas, o que forma uma rede ganha-ganha para todos os nós participantes. Além disso, os algoritmos de consenso não dependem de intermediários ou de terceiros para certificar a correção das transações. À medida que o consenso atinge um estado geral das transações na cadeia, todos os nós (computadores) podem confiar uns nos outros. Isso induz a tolerância a falhas na rede. Os dois principais tipos de algoritmos de consenso serão citados a seguir.

2.7.1 O Problema dos Generais Bizantinos

Basicamente refere-se a uma comparação utilizada na área da computação, criada com o propósito de entender a questão de consenso entre redes distribuídas, que ilustra a tomada de decisão de invasão em caso de uma guerra para que todos possam tomar a mesma ação, e também constatar se existem traidores em seu meio. Em resumo, trata-se de um modelo de um sistema distribuído chegar a um consenso, atestando todas as transações decorrentes dentro dela. No contexto do *blockchain*, esse método é aplicado por meio da rede distribuída *peer-to-peer (P2P)*, e pelo fato maior do encadeamento dos blocos todos os participantes devem formar uma verdade absoluta. Então, torna-se indispensável um dos nós da rede de *blockchain* ser o líder que irá enviar um *broadcast* a todos os outros nós da rede (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

2.7.1.1 Proof Of Work - PoW (Prova de Trabalho)

O *PoW* foi o primeiro protocolo de consenso descentralizado criado por Satoshi Nakamoto, para conseguir segurança e consistência em sua rede *Bitcoin*. Nesse modelo acontece a transferência da moeda de forma descentralizada, sendo necessário um consenso para autenticação e validação do bloco. Os computadores da rede ou (nós) tentam calcular o valor de *hash* que deve ser menor que um valor alvo de variação dinâmica, isso é o que chamam de “mineiração” dentro da rede. O nó que conseguir alcançar a solução, aguarda o confirmação do restante da rede, para adicionar o bloco de informação à *blockchain* (PUTHAL et al., 2018).

2.7.1.2 Proof Of Stake - PoS (Prova de Participação)

Esse tipo de protocolo, conhecido como prova de participação, é um tipo de abordagem alternativa ao *PoW*, que tem o objetivo de minimizar o custo de energia no processo de mineração, além de reduzir a dependência de *hardware* especializado para fazê-lo. Resumidamente, esse tipo de mecanismo dá uma certa prioridade aos mineradores

que tenham uma maior cooperação na rede e, conseqüentemente, tenham mais a perder em caso de fraude. Um exemplo em um sistema de criptomoedas seria, que esse sistema daria mais preferência aos mineradores que tenham mais moedas no instante da inserção do bloco (MIERS, 2019).

Segundo o relatório técnico do Departamento de Informática e Estatística da UFSC (INE), nesse protocolo é concedido um validador para qualquer tipo de usuário que fizer uma transação especial. Esse usuário envia um valor “X” de unidade monetária que fica retido, para garantir sua honestidade, provando assim que investiu dinheiro no sistema (RIBEIRO, 2021). Tal valor é denominado de participação e, em determinados sistemas, o usuário que tiver um maior valor, tem a maior chance de ser eleito o líder e poder propor um novo bloco. Caso exista um usuário maldoso que queira atacar a rede, é necessário que o mesmo adquira uma quantidade muito grande de fundos que pode ser quase impraticável.

2.8 Funcionamento *Blockchain*

O sistema *blockchain* originou-se por meio do funcionamento da plataforma que armazena informações em blocos que são interligados entre si, criando assim uma cadeia. Dessa forma, cada bloco que é processado gera um *hash* que é sua identificação exclusiva na rede, sendo que esse *hash* é baseado no bloco processado anteriormente conforme exibido na Figura 9. Assim, cada bloco processado tem seu *hash* próprio e dessa forma gera uma cadeia de processamento. A criação dessa cadeia impede que algum bloco seja alterado. À medida que vários blocos são processados, vão fortificando em mais os blocos anteriores. Esse método deixa a rede inviolável, processo este conhecido como chave de imutabilidade, e proporciona uma cadeia de registros distribuídos, imutáveis e públicos (MAÇOLI, FÁBIO, 2022).

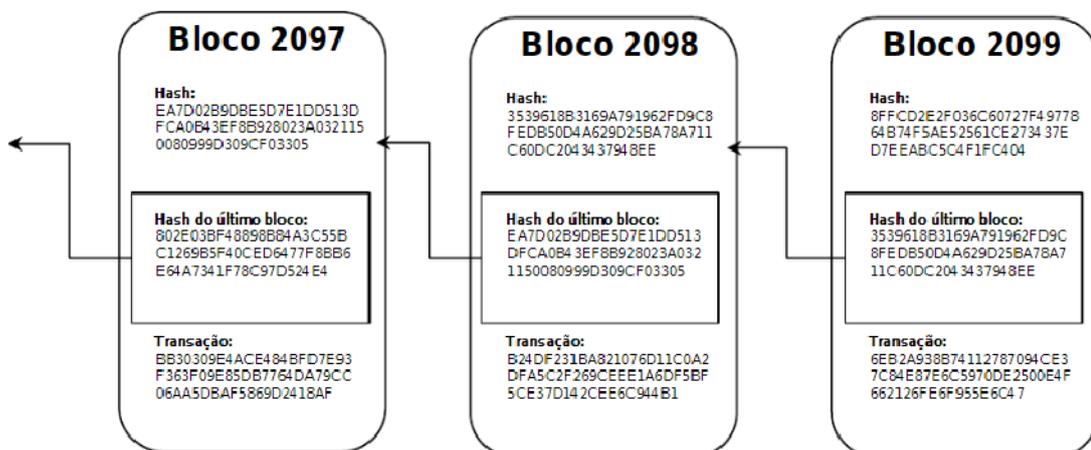


Figura 9 – Exemplo de cadeia de registros.

Fonte: Arata e Caires Ferreira (2021).

2.8.1 Pilares da Tecnologia *Blockchain*

A tecnologia *blockchain* é baseada praticamente em cinco pilares que são:

2.8.1.1 Descentralização do armazenamento

A principal ideologia da descentralização do armazenamento vem da concepção de ser independente de terceiros, ou seja, caso o usuário queira realizar uma transferência com qualquer outro usuário na rede, poderá fazê-lo diretamente, sem passar por um intermediador. Você e somente você, é o responsável pela transação (JUNIOR, 2020).

2.8.1.2 Segurança das operações realizadas

A segurança nas operações de *blockchain* está relacionada a vários aspectos, como a segurança das transações, a segurança das informações e a segurança dos nós que participam da rede. Em relação à segurança das transações, é importante garantir que apenas usuários autorizados possam realizar transações e que as transações sejam imutáveis e irreversíveis após serem registradas na *blockchain*.

Para garantir a segurança das transações, é comum utilizar mecanismos de criptografia e autenticação, como assinaturas digitais e chaves privadas, que garantem a autenticidade e a integridade das transações. Além disso, a *blockchain* utiliza algoritmos de consenso, como o Proof of Work (PoW) e o Proof of Stake (PoS), para garantir a validação das transações pelos participantes da rede (NARAYANAN et al., 2016).

2.8.1.3 Integridade dos dados

Para garantir a integridade dos dados na *blockchain*, são utilizados diversos mecanismos e técnicas, como a criptografia, os algoritmos de consenso e a descentralização. A criptografia é utilizada para proteger as informações na *blockchain*, como as transações e os contratos inteligentes, tornando-as imutáveis e resistentes a alterações não autorizadas. Os algoritmos de consenso, por sua vez, são utilizados para garantir que todas as transações realizadas na rede sejam validadas pelos participantes, mantendo a consistência e a integridade dos dados.

Além disso, a descentralização é um dos principais mecanismos utilizados na *blockchain* para garantir a integridade dos dados. A descentralização permite que a rede seja distribuída entre diversos participantes, tornando-a mais resiliente e resistente a ataques maliciosos. Com a descentralização, não há um único ponto de falha na rede, o que garante maior segurança e confiabilidade para as transações realizadas na *blockchain* (SWAN, 2015).

2.8.1.4 Imutabilidade de transações

A imutabilidade, no contexto da *blockchain*, significa que a partir do momento que alguma informação for inserida dentro da rede, ela não pode mais ser alterada, esses dados ficam imutáveis. Dessa forma, é possível prevenir por exemplo, os crimes de peculato em empresas (JUNIOR, 2020).

Com base nos itens anteriormente citados e com os princípios básicos da tecnologia, pode-se concluir que as operações que ocorrem dentro da plataforma são protegidas pelas tecnologias que compõem a plataforma (Criptografia, Assinatura digital, *Hash*, redes P2P).

2.9 Modelos de redes *blockchain*

Atualmente, as redes de *blockchain* são divididas em dois grupos, conforme a forma que os dados são protegidos, sendo eles: permissionado (do inglês, *permissioned*) e não-permissionado (do inglês, *permissionless*). Além do mais, o permissionado pode ser público ou privado. Então, essas definições são categorizadas da seguinte maneira (AGUIAR, 2021):

2.9.1 Permissionado privado

Os participantes (nós da rede) precisam se autenticar para ingressar na rede. Essas permissões, utilizadas para perdurar os dados e manter a rede, são centralizadas em uma ou mais organizações de confiança, com o objetivo de adicionar o novo bloco à cadeia, após a validação. O processo de leitura dos dados pode ser feito de forma aberta para os nós autenticados ou pode ser restrito para um conjunto confiável (ALHADHRAMI et al., 2017).

2.9.2 Permissionado público

O processo para adentrar a rede é controlado. É necessária autenticação, dessa forma, somente os nós com acesso permitido conseguirão ingressar à rede. Para conseguir o consenso, os membros legalizados fazem parte do conjunto de nós validadores. A leitura dos dados pode ser realizada por membros autenticados, ou então ser restrita para os nós especificados (ALHADHRAMI et al., 2017).

2.9.3 Não-permissionado

Nesse modelo de rede de *blockchain* o acesso é livre, não é necessário a autenticação, ou seja, qualquer participante pode criar uma transação. É formada por um livro-razão transparente, onde qualquer nó da rede pode se tornar um validador de blocos.

Em resumo, os modelos de rede de *blockchain* tem grande importância para possibilitar a customização das aplicações, levando em consideração, regras de acesso para

estruturar a organização dos modelos de rede de acordo com as necessidade da aplicação (AGUIAR, 2021).

2.10 Transações na *blockchain*

Segundo Nakamoto (2008), as transações são definidas como uma cadeia de assinaturas digitais. Cada proprietário pode transferir a moeda para o outro usuário assinando digitalmente um código *hash* da transação anterior e a chave pública do próximo proprietário e adicionando-o ao final do bloco. Um beneficiário pode confirmar as assinaturas para verificar a sua propriedade.

Para exemplificar melhor a citação anterior, suponha-se que uma empresa quer realizar a compra de algum equipamento e pagar em três parcelas por meio de moedas digitais utilizando a *blockchain*. Para realizar o pagamento da primeira parcela, a empresa deverá enviar uma ordem de transferência de sua carteira para a carteira do fabricante com o valor correspondente. Essa informação será distribuída para todos os participantes da rede que validarão se essa transferência é válida, ou seja, se a carteira da empresa tem o valor no momento de envio da ordem. Se estiver tudo certo, esta transferência será validada e adicionada a um bloco futuro. As informações da transferência ficarão registradas neste bloco e não poderão ser mais alteradas. Para a segunda parcela, será realizada outra transação em um novo bloco.

Esse modelo é baseado no método tradicional de contabilidade que registra mudanças de informações de transações de valores, porém dentro da rede *blockchain*, esse processo é descentralizado, não dependendo de uma terceira pessoa, além de que existe um mecanismo de consenso da rede e que é completamente criptografado (EXAME, 2023).

3 Desenvolvimento

Este trabalho tem como objetivo apresentar a utilização de *blockchain* em alguns segmentos da Indústria 4.0. Apesar dessa tecnologia ter ganhado destaque pela sua aplicação em um sistema financeiro sem intermediários, que existem várias outras possibilidades e aplicações, algumas já sendo implementadas e outras que podem ser vislumbradas (POYATOS, HENRIQUE, 2022).

3.1 *Blockchain* e a Indústria 4.0

No cenário atual, é importante entender o *blockchain* e o seu papel para a implementação efetiva da Indústria 4.0. Ele pode por exemplo, fornecer um lembrete onde a capacidade de reconhecer mercadorias com defeito pode ser benéfica. O *blockchain* pode proteger todos os detalhes sobre um produto (seus subconjuntos, peças, caminhos de vendas, etc). Além de reduzir despesas e a interrupção da recuperação a qualquer momento na cadeia de suprimentos. Os dados são coletados por sensores que podem ser usados para construir toda a rede de comunicação entre os agentes envolvidos na cadeia de valor (JAVAID et al., 2021).

As tecnologias que agregam a Indústria 4.0, possuem diversos recursos de computação e armazenamento que são detectados, autenticados e vinculados por meio de servidores em nuvem. Os elevados custos operacionais e de armazenamento tornam os sistemas de IIoT nas indústrias extremamente caros. No entanto, esses problemas podem ser resolvidos com uma solução transparente como o *blockchain*. Para processar os enormes volumes de dados entre os diversos dispositivos conectados, pode-se implementar um modelo de rede *peer-to-peer* estruturado, que reduziria as despesas de implementação e manutenção de grandes *data centers* consolidados. A transparência do *blockchain* permite que todas as partes envolvidas acessem e controlem as informações relacionadas a todas as fases da produção (JAVAID et al., 2021).

A tecnologia do *blockchain* fornece um registro quase em tempo real, replicado entre uma rede de parceiros de negócios e é imutável. O processo que em algumas fábricas leva a maioria das informações armazenadas no *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa, agora, pode ser disponibilizado em uma rede distribuída de registros. Vale ressaltar que, o modelo de Indústria 4.0 provoca a utilização dessa nova tecnologia para incentivar a evolução da arquitetura de comunicação das fábricas atuais, migrando de um modelo centrado em nuvem ou serviços de internet, para modelos distribuídos, como exibido na Figura 10, onde todos os envolvidos trocam informações entre si em uma rede descentralizada com uma arquitetura de rede *peer-to-peer* (P2P).

Segundo [Fernandez-Carames e Fraga-Lamas \(2019\)](#) uma das tecnologias mais prósperas para aplicação em ambientes industriais é o *blockchain*, que surgiu por meio da criptomoeda *Bitcoin*, e que permite criar aplicações descentralizadas (DApps) com habilidade de rastrear e armazenar transações por uma grande quantidade de usuários e dispositivos simultâneos.

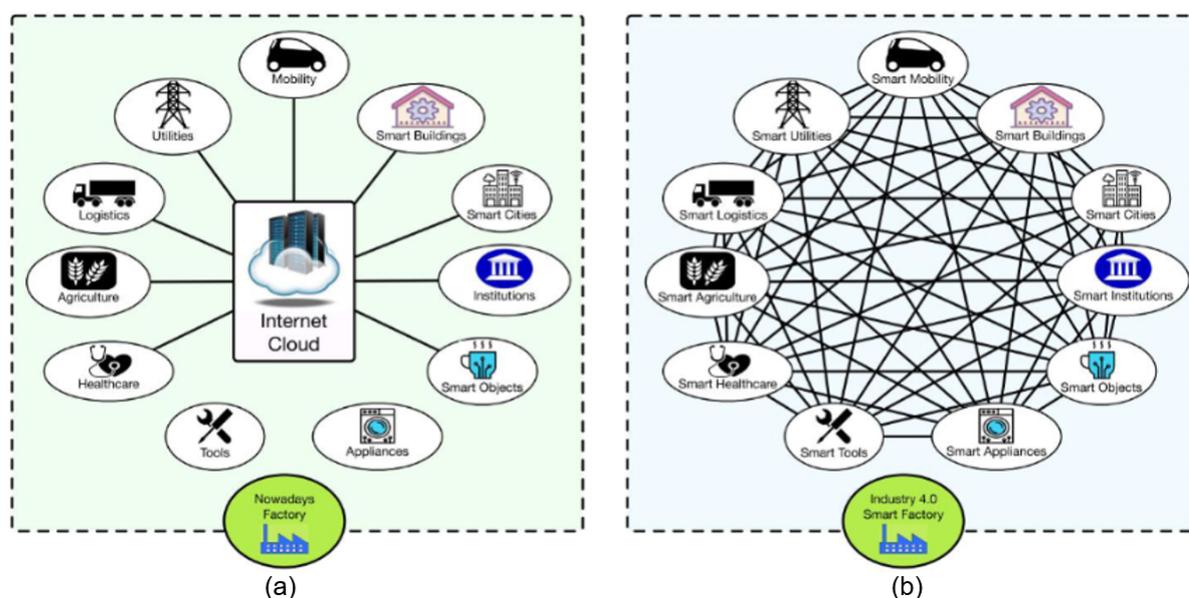


Figura 10 – Evolução da arquitetura de comunicações: (a) Fábrica moderna. (b) Fábrica inteligente da Indústria 4.0.

Fonte: [Fernandez-Carames e Fraga-Lamas \(2019\)](#).

3.2 Aplicações de *blockchain* na Indústria 4.0

3.2.1 *Big Data* e Análise de Dados

A fábrica inteligente padrão da Indústria 4.0 trabalha na coleta de uma gigantesca massa de dados, que vêm de diversas fontes diferentes da cadeia de valor como por exemplo, de outras fábricas, fornecedores de logística ou prestadores de serviço. Essa grande quantidade de informações é realmente muito importante e valiosa, porém seu processamento necessita de uso de técnicas mais avançadas de *big data*. Além do mais, a análise de dados é utilizada para prever necessidades ou problemas iminentes ([FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019](#)).

A tecnologia *blockchain* pode ajudar a constituir uma interface comum de compartilhamento de dados, na qual, todos os participantes envolvidos possam interagir ([CHEN; XUE, 2017](#)). Além do mais, *big data* e análise de dados contam com dados confiáveis para realizar tomadas de decisões mais assertivas. Para [Abdullah, Hakansson e Moradian \(2017\)](#) a tecnologia de *blockchain* pode aprimorar a confiabilidade dos dados criando uma maior

reputação entre as partes envolvidas. Segundo [Karafiloski e Mishev \(2017\)](#) o *blockchain* também protege as informações compartilhadas fornecendo a data e a hora do momento exato da transação, garantindo a credibilidade das informações.

Dessa forma, quando se pensa em circulação de dados, isso está relacionado ao fato de que essas informações passam continuamente pela Indústria 4.0, e, as vezes, tais informações necessitam de autorização de seus donos ou seus remetentes para circulação. Nesse caso, os contratos inteligentes podem ser uma boa solução levando em consideração que eles são capazes de padronizar e automatizar essa circulação de dados, deixando assim essas informações mais transparente para terceiros ([FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019](#)).

3.2.2 Internet Industrial das Coisas - IIoT

De acordo com [Fernández-Caramés \(2015\)](#) pode-se entender a sigla IIoT como: o uso de tecnologias tradicionais da Internet das Coisas (IoT) voltado para ambientes industriais conectados a internet. Assim sendo, envolve a implantação em grande escala de sensores industriais, atuadores e máquinas com sensores que possam atuar em ambientes industriais ([WANG et al., 2015](#)).

O *blockchain* pode cooperar com os sistemas IIoT de maneira a realizar transações descentralizadas e trocar informações durante os estágios de processamento dentro de uma estrutura de confiança, onde essas transações são assinadas e aprovadas com data e hora ([TESLYA; RYABCHIKOV, 2017](#)).

Aplicativos baseados em *blockchain* podem permitir que as informações geradas e publicadas por um dispositivo IIoT não seja falsificadas ou alteradas por pessoas mal-intencionadas. Isso é primordial para alguns setores, onde a transparência é fundamental para alguns dos participantes (exemplo disso seria, governos, supervisores e partes interessadas) para se ter confiança em uma empresa ([FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019](#)).

3.2.3 Robôs e Veículos Autônomos

Sabe-se que a automação é imprescindível na Indústria 4.0, logo, as atividades suscetíveis de serem automatizadas podem ser realizadas utilizando *cobots*, robôs ou veículos terrestres autônomos (AGVs) ([ANDREASSON et al., 2015](#)). Segundo [Akella et al. \(1999\)](#) *cobots* ou robôs colaborativos são capazes de colaborar com humanos em certas atividades, enquanto robôs podem automatizar outras tarefas de forma autônoma. Os AGVs são mais utilizados para transportar ou buscar itens em uma fábrica, são veículos que existem para ambientes industriais específicos ([KOLLMÖGEN, 2022](#)).

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) também vêm se tornando muito populares nos últimos anos e têm sido usados em diversos ambientes industriais (GUÉRIN et al., 2015).

O *blockchain* pode ajudar muito os robôs e veículos industriais autônomos, pois proporciona que eles possam interagir com outras partes por meio dos contratos inteligentes. Dessa forma, tanto os robôs quanto os veículos baseados em *blockchain* podem contribuir com terceiros de forma autônoma.

Um exemplo prático é descrito no artigo de Miller (2018) que sugere o uso de *blockchain* para reabastecimento, carregamento, estacionamento e reparo de veículos autônomos e semi-autônomos.

3.2.4 Fabricação de Aditivos (Impressão 3D)

Dentre os fundamentos do paradigma da Indústria 4.0 alguns recursos devem fazer parte desse modelo, que são a flexibilidade e a customização. Esses recursos devem ser fornecidos por uma fábrica inteligente sem aumentar os custos do produto. Nesse contexto, a impressão 3D propicia a criação de determinados protótipos a um preço mais baixo do que as técnicas tradicionais de fabricação (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019).

Nesse cenário, os benefícios fornecidos pelo *blockchain* podem mitigar alguns dos principais desafios da manufatura aditiva industrial como por exemplo, segurança no *design* das peças, rastreabilidade e propriedade intelectual.

3.2.5 Cadeia de Suprimentos Descentralizada

Segundo Winkler-Goldstein et al. (2018), com a utilização de uma *blockchain* é possível diminuir o tempo de entrega e otimizar o gerenciamento de estoque, além de distribuir ofertas de trabalho de consumidores industriais para produtores que também podem negociar entre eles.

A rastreabilidade da cadeia de suprimentos também é de suma importância para alguns setores, que necessitam de que ela seja transparente e inviolável, para que possa gerar mais valor e credibilidade para os envolvidos nesse cenário (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019). O *blockchain* oferece esse tipo de recurso além de poder adicionar mais flexibilidade para ambientes com mudanças constantes. Um exemplo prático para rastreabilidade da cadeia de suprimentos industriais é apresentado pelos autores Lu e Xu (2017) em seu artigo que fala sobre o desenvolvimento do originChain, que é um sistema baseado em *blockchain*. O artigo também destaca que um desafio para as empresas implementarem esse tipo de sistema, apesar dos benefícios, devido a sua curva de aprendizado e aos custos de integração.

3.2.6 Cibersegurança

Uma das partes primordiais nas aplicações da Indústria 4.0 são as interconexões e a parte de infraestrutura da rede. Por esse motivo é fundamental proteger todo o sistema envolvido nessas conexões. Além do mais, a parte de segurança é um dos pontos cruciais para sistemas industriais críticos, tendo em vista o aumento significativo de ataques cibernéticos nos últimos anos (HUR et al., 2017).

Como já citado no Capítulo 2, a partir do momento que a maioria das tecnologias *blockchain* utilizam o padrão de criptossistemas seguro de chave pública e algoritmos de *hash*, a segurança dos dados é melhorada em relação a outros sistemas mais tradicionais. Ademais, *blockchains* podem delimitar o acesso de usuários, diminuindo a possibilidade de possíveis invasores. Levando em conta, que os dados na *blockchain* são distribuídos, caso um participante esteja sob ataque, as informações podem ser disponibilizadas para outros nós, garantindo a disponibilidade de dados (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019).

Um exemplo prático para demonstração, foi encontrado no trabalho dos autores Rawat et al. (2018) que descreve um *framework* de compartilhamento de informações que é baseado em *blockchain*, com o objetivo de combater os problemas de segurança cibernética para as empresas.

Contudo, vale ressaltar também que *blockchains*, podem ser boicotados caso um grupo de validadores se tornem a maioria da rede (o que pode acontecer com um *blockchain* pequeno), sendo capaz de abortar algumas transações por questões econômicas ou ideológicas (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2019). Apesar de, o *blockchain* conseguir aumentar a segurança para a Indústria 4.0, seu uso deve ser analisado pois pode envolver outros problemas de segurança que devem ser identificados (CONTI et al., 2018).

3.2.7 Sistema de Produção Cyber-Físico ICPS

Para Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2019) um ICPS ou Sistema de Produção Ciber-Físico é um sistema preparado para coletar, processar e armazenar dados para administrar processos físicos. Segundo Harrison, Vera e Ahmad (2016), os ICPS são distribuídos de forma física em fábricas inteligentes e podem alguns deles estar na internet, o que implica que o processamento e a análise de dados sejam descentralizados, permitindo tomada de decisões em tempo real.

Em razão da natureza descentralizada de um ICPS e por conta de sua necessidade para redundância de dados, a tecnologia de *blockchain* é um agregador para esse modelo de sistema. Pesquisadores como Afanasev et al. (2018) já apresentaram o uso de *blockchain* como base de um ICPS para vários tipos de indústria. Por exemplo, o projeto de um ICPS baseado em *blockchain* para uma fábrica de placas de circuito impresso é descrito. Já Yanqi Zhao et al. (2018) ajustaram suas pesquisas em aumentar a confiabilidade de um

CPS gerando um tipo de sistema de reputação e oferecendo recompensas às várias partes que ajudam com o sistema.

4 Resultados

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo de forma ampla da tecnologia *blockchain*, mostrando suas principais características, seu funcionamento, além de mostrar como essa tecnologia pode ser aplicada em alguns dos pilares da Indústria 4.0.

Neste Capítulo, apresentam-se os resultados da pesquisa bibliográfica em relação aos objetivos traçados e compara-se com os trabalhos já publicados. Um dos principais resultados encontrados foi de que a tecnologia *blockchain* pode trazer grandes benefícios para as empresas e indústrias em relação a rastreabilidade e descentralização de informações. O trabalho de [Queiroz e Fosso Wamba \(2019\)](#) mostra que os sistemas logísticos tradicionais utilizados para abastecimento de alimentos e agricultura, meramente depositam e entregam ao destinatário, abrindo assim, uma lacuna para alguns recursos como auditabilidade rastreabilidade e transparência. Porém, segundo [Tian \(2017\)](#) a tecnologia *blockchain* aliada com IoT e com identificações de radiofrequência (RFID) podem melhorar a segurança e a qualidade dos alimentos, tendo em vista de que, é possível observar remotamente a cadeia de suprimentos de alimentos, garantindo assim que aquele alimento é de confiança.

Outra pesquisa que pontuou positivamente para adoção da tecnologia foi o trabalho de [Li \(2018\)](#), que utiliza a *blockchain* para resolver alguns dos desafios das *Smart Cities* (ou Cidades inteligentes). As *Smart Cities* basicamente são cidades que utilizam diversos tipos de sensores por vários dispositivos inteligentes e usuários, para coletar dados e após processá-los, os mesmos são utilizados no gerenciamento de tráfego, sistemas de transporte, gerenciamento de resíduos, escolas, bibliotecas, redes de abastecimento de água e usinas de energia para otimizar o desempenho desses sistemas. As principais dificuldades, segundo os autores, estão relacionadas a baixa segurança de IoT, manutenção e atualização de equipamentos, grandes custos na construção de *data centers*, privacidade de usuários, entre outros. Ainda, segundo os autores, a tecnologia *blockchain* tem o potencial de resolver todos esses problemas e, conseqüentemente, é indicada para o desenvolvimento de soluções de cidades inteligentes, levando em consideração a segurança nas transações que a tecnologia oferece.

Outros setores como a saúde inteligente, que tem relação com a Indústria 4.0, também podem se beneficiar da adoção da tecnologia de *blockchain*. No sistema de saúde que se apresenta hoje, os dados dos pacientes são armazenados de forma centralizada, logo, não é confiável dar acesso aos dados a pessoas não confiáveis. Além do mais, a privacidade e a segurança dessas informações devem ser protegidas, pois podem ser vulneráveis a diversos tipos de ataque ([VORA et al., 2018](#)). A saúde inteligente tem como um de seus objetivos o monitoramento e diagnóstico da saúde de pacientes por meio de canais de comunicação sem

fo. A coleta de dados se dá por meio de dispositivos e sensores vestíveis como *smartwatches* que são os relógios inteligentes, e até mesmo roupas com tecido inteligente.

Uma larga escala de dados são coletados para um grande número de pacientes. Porém, é um grande desafio analisar e armazenar tais dados de forma segura, esses dados também podem ser compartilhados com terceiros confiáveis como, hospitais, médicos e lojas médicas. A segurança nessa comunicação é primordial, pois afetam decisões importantes, como recomendação de médicos, análise de sintomas e diferentes doenças, planejamento de novos serviços em hospitais, além de melhorar todo o sistema deixando-o inteligente (BODKHE; TANWAR et al., 2020). O trabalho dos autores Yue et al. (2016) propõe um sistema inteligente baseado em *blockchain*, que é um aplicativo conhecido como Healthcare Data Getway (HDG). Os pacientes podem compartilhar seus dados de forma segura sem violar sua privacidade, o que fornece uma maneira potencial de melhorar a inteligência dos sistemas de saúde.

Apesar dos benefícios proporcionados pelo *blockchain*, seu desenvolvimento e implantação na Indústria 4.0 supõe desafios significativos que exigem mais pesquisas. O trabalho de Bodkhe, Tanwar et al. (2020) cita alguns dos desafios que as empresas irão encontrar ao optarem por aderir a tecnologia. Segundo os autores, atualmente armazenam-se todas as transações na rede *blockchain* descentralizada para validá-las. Como consequência, o *blockchain* se torna pesado e lento, pois, há uma restrição no tamanho de cada bloco, além disso, existe uma preocupação também quanto ao intervalo de tempo necessário para criar um novo bloco, que atualmente é dez minutos. Algumas *blockchains* podem processar de 7 a 8 transações por segundo, mas em cenários em tempo real onde milhões de transações podem ser executadas, conseqüentemente, fica quase impossível implementá-las, em razão do desafio de garantir escalabilidade.

4.1 Empresas que já utilizam *blockchain*

4.1.1 *Blockchain* e seu uso como estratégia do Governo Digital no Brasil

O mundo acabou de passar por uma pandemia que gerou consequências econômicas, por outro lado, esse acontecimento fez acelerar o ritmo da transformação digital em vários setores. Diante disso, o governo brasileiro instituiu, em 2020, sua estratégia de Governo Digital por meio do Decreto 10332/2020 (BRASIL, 2020).

Dessa forma, o governo traça os procedimentos para a transformação digital de serviços, unificação dos canais digitais e a promoção da interoperabilidade de sistemas. Os objetivos principais são de oferecer serviços públicos digitais mais simples e intuitivos, consolidados em plataforma única, além de promover a integração e a interoperabilidade das bases de dados governamentais, implementar a Lei Geral de Dados, disponibilizar a identificação digital ao cidadão, otimizar as infraestruturas de tecnologia da informação, dentre outros.

No exemplo citado anteriormente, os procedimentos e objetivos traçados vão de encontro perfeitamente com o que foi estudado no Capítulo 2 deste trabalho, no que diz respeito à descentralização, criptografia de dados, algoritmos de consenso e modelos de redes de *blockchain*. No Anexo deste Decreto n. 10332 de 28/04/2020, o Governo cita o uso de *blockchain* como uma das metas para a ampliação do governo digital no Brasil (BRASIL, 2020).

“Iniciativa 8.3. Disponibilizar, pelo menos, nove conjuntos de dados por meio de soluções de blockchain na administração pública federal, até 2022.”

“Iniciativa 8.4. Implementar recursos para criação de uma blockchain do Governo federal interoperável, com uso de identificação confiável e de algoritmos seguros.”

Uma das vantagens exclusivas das estruturas de *blockchain* que não está presente em outras tecnologias é o caso do “problema do gasto duplo”, que refere-se ao fato de que a informação digital pode ser copiada usando a internet. Suponha que alguém quer transferir um ativo digital por meio de um documento representativo da propriedade de um terreno para outra pessoa existe um risco de o remetente enviar esse documento pela internet e ainda manter o documento original da propriedade consigo. Porém, esse problema termina com a solução proposta por Nakamoto (2008). Originalmente, esse problema era atenuado por terceiros ou administradores confiáveis, como por exemplo, organizações, corporações e instituições financeiras, que atuavam como autoridade central, controlando todas as transações.

Com o advento das *blockchains*, essa responsabilidade de validar as transferências

passou a ser feita sem a necessidade de um terceiro de confiança (autoridade centralizada), de modo que a responsabilidade passa a ser feita por algoritmos matemáticos cuidadosamente projetados: os algoritmos de consenso. A transação de valor é validada pela rede por esse mecanismo de consenso, que permite aos usuários da rede P2P validar as transações e atualizar o registro em toda a rede para os usuários. Esse mecanismo de consenso possui a função de estabelecer a confiança de que as transferências realizadas na rede *blockchain* são verídicas e precisas, eliminando assim a necessidade de um terceiro de confiança, o que torna a rede descentralizada.

Blockchain pode agregar valor à administração pública em razão de suas propriedades de imutabilidade, rastreabilidade, transparência, confiabilidade e resiliência operacional. No nível básico, isso já impactaria em serviços públicos aprimorados nos processos de registro e troca de informações. Essa tecnologia é uma importante ferramenta para mitigar a burocracia e a corrupção, proteger informações, impedir atividades fraudulentas, proporcionar uma maior automação e confiança dos cidadãos e empresas nos processos governamentais.

Um dos principais fatores de sucesso para os cidadãos em termos de benefício com o uso de *blockchain* pelo Governo seria na redução dos “custos da verificação”. Um exemplo dessa situação seria a seguinte: ao adquirir um produto ou serviço, geralmente você pagou um preço mais elevado do que normalmente praticado no mercado, ou ainda, não obteve informações sobre o serviço contratado. Dificilmente você voltará a comprar na mesma loja, pois quanto maior o nível de “assimetria das informações” que quer dizer, que pode estar faltado algum dado, ou até mesmo, informações não verdadeiras sobre aquele produto com a intenção de elevar seu preço. Essa diferença entre empresas e consumidores, deixa menos eficiente os mercados, e mais custos são impostos para realizar uma transação. *Blockchains* reduzem a assimetria de informações entre prestadores de serviço e usuários, favorecendo que negócios mais benéficos aconteçam, reduzindo os custos de uma transação, podendo tornar os mercados mais seguros e eficientes.

Apesar de todos os benefícios, os gestores públicos devem tomar alguns cuidados na hora de escolherem o algoritmo de consenso. Esse mecanismo é um dos principais parâmetro da arquitetura *blockchain*, juntamente com a criptografia e a rede P2P. O principal fator que deve ser levado em consideração na escolha do mecanismo de consenso, é de longe o escopo do projeto, considerar qual problema será resolvido com a utilização da tecnologia. No quesito do mecanismo de consenso, o gestor deve avaliar os que fornecem características tais como: concordância, colaboração, cooperação e igualdade. Quanto aos controles, os gestores devem escolher o mecanismo de consenso mais adequado a cada projeto e descobrir as respostas para algumas perguntas. Há expectativas do projeto em relação à velocidade? O armazenamento de dados vai precisar de cuidados especiais com as informações sensíveis? Entre outras. Para isso, como mencionado no Capítulo 2, os

modelos de rede de *blockchain* podem influenciar na escolha correta.

Contudo, ainda existem alguns desafios para serem enfrentados que podem apresentar riscos ao se adotar essa tecnologia. Atualmente alguns deles são:

- Padrões ainda não maduros: A ausência de padrões internacionais acarreta riscos relacionados com a falta de interoperabilidade jurídica, organizacional, semântica e tecnológica.
- Dependência de algoritmos complexos: Contratos inteligentes e algoritmos complexos serão o novo intermediário, mas a implementação arquitetônica em plataformas *on-line* depende, em última análise, das escolhas específicas dos projetistas dessas plataformas.
- Sistemas de reputação: numa rede descentralizada, seria necessário obter excelentes sistemas de reputação para poder descentralizar a maioria das decisões e isso ainda está sendo construído (ITFORUM, 2023a).

4.1.2 *Blockchain* e sua utilidade na área da saúde

A tecnologia *blockchain* vem recebendo atenção significativa no domínio do gerenciamento de saúde. Existem projetos piloto aplicados para algumas atribuições no setor hospitalar e de saúde desde 2017, como registros médicos, cobrança de seguros e vigilância de doenças. Salienta-se sua aplicação no gerenciamento de prontuários eletrônicos, onde grandes registros têm sido processados com eficácia (EKBLAW et al., 2016).

O *blockchain* pode resolver diversos problemas de compartilhamento de registros médicos na área da saúde e revolucionar na interoperabilidade entre banco de dados médicos. Se, por acaso, uma pessoa fizer exames num hospital em São Paulo, e posteriormente, precisar ser atendido em uma outra rede de saúde em Belo Horizonte, por exemplo, ninguém terá acesso aos exames feitos na cidade paulista. A interoperabilidade que o *blockchain* proporciona ajuda a melhorar o acesso a registros médicos, arquivos de imagens, relatórios médicos, prescrição de medicamentos e na vigilância em todo o Mundo (PETERSON et al., 2016).

A Guardtime que é uma empresa que desenvolve a tecnologia *blockchain*, juntamente com a InstantAccesMedical e a HealthcareGateway, lançou a primeira plataforma de registros médicos em *blockchain* do mundo, conhecida como MyPCR, a ideia assemelha-se ao que foi proposto por Yue et al. (2016). Essa plataforma *blockchain* possibilita, a até 30 milhões de pacientes do sistema público de saúde do Reino Unido, acesso instantâneo às informações de cuidados de saúde iniciais, além de roteiros de cuidados pessoais e suporte à adesão a medicamentos por meio de *smartphones*. A MyPCR foi desenvolvida com o objetivo de fornecer provas imutáveis de procedência e integridade dos documentos de

saúde, gerência dos direitos de registros dos pacientes, além de verificação automatizada da aderência a medicamentos.

A aplicação da tecnologia *blockchain* tem a capacidade de renovar todo um sistema de saúde, tornando-o mais sólido, como já foi comprovado na Estônia, que utiliza a tecnologia para registro de saúde, urgência e prescrição eletrônica de medicamentos. Na Estônia, toda parte de infraestrutura da saúde pública é formada via *blockchain*. O sistema utiliza um modelo de rede pública, basicamente tem seu acesso controlado e é necessário uma autenticação para acessar a rede. Ele foi desenvolvido pela Guardtime, que também compila dados para estatísticas do país, para que o ministério tenha *insights* e possa medir tendências de saúde, além de conseguir rastrear epidemias e garantir que seus recursos de saúde sejam direcionados para um gasto mais efetivo. Evidentemente, os pacientes têm acesso aos próprios registros de saúde, podendo revisar as consultas médicas as prescrições atuais e verificar quais médicos tiveram acesso aos seus arquivos (ITFORUM, 2023b).

4.1.3 Carrefour e o uso de *blockchain* na cadeia de alimentos

Em 2018, a empresa Carrefour pioneira na utilização de *blockchain* na cadeia de alimentos, utilizou a tecnologia em um de seus produtos. O projeto que começou na Europa com o frango Carrefour Quality Line Auvergne, um marco de relevância para seu plano de transformação digital com o nome, “Carrefour 2022”. A tecnologia já é utilizada em outras linhas de produtos de origem animal e vegetal como tomate, laranja, leite, queijo e ovos. Esse sistema inovador garante a seus consumidores uma completa rastreabilidade do produto (CARREFOUR, 2023).

A empresa amplia a rastreabilidade de alimentos *in natura* aqui no Brasil. Atualmente apenas a carne suína e laranja estão inseridas na plataforma, mas segundo o diretor de Sustentabilidade do Carrefour Brasil, em breve novos produtos como frutas, legumes e verduras também estarão dentro desse modelo. Segundo o executivo, a tecnologia *blockchain* permite rastrear todo o caminho percorrido pelo alimento desde a fazenda, para fornecer aos consumidores todas as informações sobre uma série de produtos, especialmente aqueles *in natura*.

Para cada fornecedor, o Carrefour tem suas regras muito bem definidas. O sistema de logística, de entrega dos produtos, muito bem controlado. No caso da carne suína, por exemplo, cada animal é registrado desde o seu nascimento, ganhando uma identificação única na plataforma *blockchain*, que pode ser um código *hash* criptográfico, que garante a confidencialidade dos dados, e a cada etapa de vida daquele animal, os dados vão sendo inseridos dentro daquele bloco de informações: vacinação, alimentação e momentos de transporte, entre outros dados. O consumidor final, tem acesso a essas informações escaneando um *QR code* no rótulo do produto, e a partir disso, o mesmo consegue dados adicionais como a história do pecuarista e do produto, que podem ser inseridos na rede

blockchain por outras partes envolvidas nesse processo, mostrando que de fato, nesse cenário, a descentralização das informações pode agregar muito valor, pois o cliente passa a ter um outro nível de informação, que agrada mais do que simplesmente ter uma linha do tempo do que aconteceu com aquele alimento. Isso gera uma maior conexão entre o consumidor e o produto, que adquire uma “identidade” para ele (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS, 2023).

4.1.4 Plataforma verde *software* para gestão de resíduos industriais

A plataforma verde é uma empresa de tecnologia brasileira que tem como um de seus propósitos a aceleração de uma produção mais limpa no planeta. A empresa utiliza a tecnologia *blockchain* para efetuar a rastreabilidade e o monitoramento de processos e cadeias produtivas. Sendo especialista em economia circular e soluções para *Smart City*, com o maior reconhecimento internacional na área de *blockchain* não financeiro, a empresa criou um *software* que controla desde a extração da matéria prima, processos de produção e a destinação de resíduos monitorando toda a cadeia de suprimentos (PLATAFORMA VERDE, 2023).

A Plataforma Verde realizou uma parceria com a montadora Renault em 2015, que era uma das maiores geradoras de resíduos do Paraná. A adoção da automatização do processo concentrou a gestão de resíduos em apenas uma pessoa, que alimenta a plataforma com informações conforme necessário, além de poder acompanhar todo o processo *on-line*. Como resultado, a empresa além de ganhar tempo em etapas de verificação da produção de resíduos, teve também uma melhora no balanço de 300%. A maioria das empresas fiscalizada por órgãos que verificam como é feito o gerenciamento de resíduos desde a produção até o descarte. Verifica-se também a chegada às cooperativas responsáveis pela reciclagem do material, podendo haver multas e até embargo de produção em caso de desvios. A Plataforma Verde controla todas essas etapas, desde quem gera até quem recebe os resíduos, incluindo todos os intermediários responsáveis. Entre as ferramentas existe a possibilidade de acompanhar a validade de todas as licenças exigidas pela legislação, rastrear para tentar inibir a criação de aterros irregulares, destinos não licenciados, entre outros (PROJETO DRAFT, 2023).

A solução criada funciona como um sistema em *blockchain* em que o banco de dados é único e todas as informações são compartilhadas e validadas entre os diferentes participantes da cadeia, como um tipo de protocolo de consenso, garantindo assim, a confiança e a transparência no ambiente descentralizado. Além disso, a parte da rastreabilidade funciona da seguinte maneira: se uma empresa gerar 10 toneladas de resíduo, o transportador valida que as 10 toneladas foram transportadas e a empresa que irá receber esse material, também deve assegurar essa informação. Se por acaso, chegar apenas 9,5 toneladas ao destinatário, então, o receptor precisa comprovar essa informação na rede e ela retorna para

os outros participantes da cadeia para ser validada. Tendo em vista de que, o valor inicial de 10 toneladas não é apagado ou excluído, pois o *blockchain* não admite a eliminação de informações, lembrando do conceito de imutabilidade dos dados, uma vez que a informação tenha sido aprovada pela maioria. Porém o novo dado é acrescentado e passa a valer para possíveis relatórios (PEQUENAS EMPRESAS E GRANDES NEGÓCIOS, 2023).

4.1.5 Rastreamento as emissões de carbono da mineração com *blockchain*

Uma iniciativa *blockchain* de mineração e metais do fórum econômico mundial, definida entre as empresas, Anglo American, Antofagasta Minerals, Eurasian Resources Group, Glencore, Klöckner & Co, Minsur e Tata Steel, foi acordada, em 2019, para realização de testes entre o setor de mineração e empresas de metais. A ideia a princípio, é a exploração de soluções *blockchain* para impulsionar o fornecimento sustentável no setor, visando rastrear as emissões de gases do efeito estufa. Esse projeto piloto chamado de *Carbon Tracing Plataforma* já conseguiu resultados positivos que serão fundamentais para garantir a rastreabilidade das emissões da mina ao produto final.

Nos últimos anos, a transparência de alguns minerais como o ouro por exemplo, tem ficado em evidência devido à sua ligação com questões de proveniência, incluindo trabalho infantil, condições ruins dos trabalhadores e baixos salários. Uma análise semelhante está sendo feita, agora sobre o registro ambiental dos setores, exigindo mais responsabilidade pelas emissões resultantes das operações. Com a grande maioria das empresas coletando vários tipos de dados sobre ESG, (*Environmental, Social and Governance*) Governança ambiental, social e corporativa, que nada mais é que, um conjunto de padrões e boas práticas que visam definir se uma empresa é socialmente consciente, sustentável e corretamente gerenciada, e metas de desenvolvimento sustentável, existe uma grande oportunidade para a tecnologia *blockchain* desempenhar um papel crucial, que é permitir que as organizações se unam e se tornem mais digitais. Dessa forma cria-se uma cadeia de valor mais conectada.

Para criar essa tecnologia de contabilidade distribuída, as empresas precisam posicionar suas informações digitais sincronizadas geograficamente em vários sites, países ou instituições. Na mineração, por exemplo, eles implementam uma tecnologia que segue a cadeia de suprimentos. Começa-se com uma fundição, depois passa-se para empresas de beneficiamento, o transporte entre os fabricantes, depois uma análise nas amostras, passando por empresas voltadas para o consumidor e, por fim, o comprador. Nesse modelo, cria-se uma plataforma que se parece com os nós de custódia, onde são alocados pontos de dados para contabilizar as emissões de forma descentralizada e resistente a qualquer tipo de alteração ou censura. Porém, as empresas precisam abordar a transparência e a privacidade dos dados, além de criar um mecanismo passo a passo antes de criar o *software*. Outro ponto importante, é a padronização da forma como os dados serão inseridos no sistema, além da atenção ao trabalhar em um consórcio *blockchain* que requer governança

e o nível suficiente de colaboração entre as empresas ([BRASIL MINING SITE, 2023](#)).

5 Conclusão

A tecnologia *blockchain* tem sido amplamente discutida nos últimos anos como uma solução inovadora e segura para muitas áreas, incluindo finanças, saúde, logística e indústria 4.0. Sua natureza descentralizada, confiabilidade e capacidade de garantir a integridade dos dados a tornam especialmente útil para o setor industrial. Este Capítulo apresentará algumas considerações finais sobre a tecnologia *blockchain*, bem como seus benefícios e desafios na aplicação na indústria 4.0.

Uma das principais vantagens do uso de *blockchain* na indústria 4.0 é a capacidade de garantir transações seguras e confiáveis entre diferentes partes, como fornecedores, fabricantes e clientes. Por exemplo, *blockchain* pode ser usado para rastrear produtos e materiais em toda a cadeia de suprimentos, garantindo sua autenticidade e qualidade. Isso pode ajudar a evitar a falsificação de produtos e a reduzir o tempo e o custo necessários para verificar a origem dos materiais.

Outra aplicação importante da tecnologia *blockchain* na indústria 4.0 é a criação de sistemas de gerenciamento de energia inteligentes. Com a ajuda de *blockchain*, as empresas podem monitorar e controlar o uso de energia em tempo real, reduzindo o desperdício e aumentando a eficiência energética. Isso é especialmente importante para empresas que têm operações intensivas em energia, como a indústria química e de manufatura.

Além disso, a tecnologia *blockchain* pode ser usada para garantir a segurança de dados críticos da indústria, como propriedade intelectual, informações de clientes e planos de produção. Ao armazenar esses dados em uma rede descentralizada, as empresas podem protegê-los contra ataques cibernéticos e garantir sua integridade e disponibilidade.

No entanto, implementar soluções baseadas em *blockchain* pode ser um desafio para as empresas da indústria 4.0. Uma das principais barreiras é a falta de conhecimento técnico necessário para implementar e gerenciar a tecnologia. Além disso, a adoção de *blockchain* requer um alto nível de cooperação entre diferentes partes, o que pode ser difícil de alcançar em um setor altamente competitivo.

Outro desafio é garantir a privacidade dos dados. Embora *blockchain* seja uma tecnologia segura, as informações armazenadas na rede são geralmente visíveis para todos os participantes da rede. Isso pode ser um problema para empresas que precisam proteger informações confidenciais e proprietárias.

Em conclusão, a tecnologia *blockchain* oferece muitas oportunidades para a indústria 4.0, incluindo maior eficiência, segurança e transparência. No entanto, a implementação bem-sucedida de soluções baseadas em *blockchain* requer um planejamento cuidadoso,

cooperação entre diferentes partes e a solução de desafios técnicos e de privacidade. As empresas que conseguem superar esses desafios e adotar a tecnologia *blockchain* têm a oportunidade de transformar suas operações e se manterem competitivas no mercado em constante evolução.

5.1 Trabalhos futuros

Como sugestão para futuras pesquisas relacionadas ao tema deste trabalho, fica a recomendação de realizar um estudo de caso para a implementação de um modelo de indústria 4.0 com uso de *blockchain* na gestão de ativos em uma fábrica de automóveis. Nesse caso, a *blockchain* seria usada para criar uma rede de fornecedores de peças e equipamentos, bem como para rastrear a manutenção e reparação de equipamentos e veículos.

Cada equipamento e veículo seria registrado na *blockchain*, com informações sobre sua origem, especificações técnicas e histórico de manutenção. Isso permitiria que os gerentes da fábrica visualizassem facilmente informações importantes sobre cada ativo, como seu status de manutenção, vida útil e histórico de reparos.

Além disso, a *blockchain* seria usada para coordenar a gestão de estoque de peças e componentes, garantindo que a fábrica sempre tenha o suprimento necessário para manter a produção em andamento.

Por fim, a *blockchain* seria usada para rastrear o processo de produção de cada veículo, permitindo que os gerentes da fábrica tenham uma visão geral do processo de produção em tempo real e possam tomar decisões mais informadas sobre a alocação de recursos.

Os benefícios dessa solução incluiriam maior transparência e eficiência na gestão de ativos e cadeia de suprimentos, redução de custos e tempo de manutenção e reparação, e melhor qualidade de produção.

Os desafios para a implementação deste projeto incluiriam a coordenação com fornecedores e parceiros para garantir a adoção da tecnologia *blockchain*, a integração do sistema com os sistemas existentes na fábrica e a garantia da privacidade dos dados dos ativos registrados na *blockchain*. Além disso, seria necessário treinar os funcionários da fábrica para usar a solução de maneira eficaz e garantir que a solução esteja em conformidade com as regulamentações do setor.

Referências

- ABDULLAH, Nazri; HAKANSSON, Anne; MORADIAN, Esmiralda. Blockchain based approach to enhance big data authentication in distributed environment. In: IEEE. 2017 Ninth international conference on ubiquitous and future networks (ICUFN). 2017. P. 887–892.
- AFANASEV, Maxim Ya et al. An application of blockchain and smart contracts for machine-to-machine communications in cyber-physical production systems. In: IEEE. 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). 2018. P. 13–19.
- AGUIAR, Erikson Júlio de. *Um framework baseado em blockchain para preservar a privacidade no compartilhamento de dados de saúde*. 2021. F. 127. Diss. (Mestrado) – Universidade de São Paulo - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, São Paulo.
- AKELLA, Prasad et al. Cobots for the automobile assembly line. In: IEEE. PROCEEDINGS 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 99CH36288C). 1999. v. 1, p. 728–733.
- ALHADHRAMI, Zainab et al. Introducing blockchains for healthcare. In: 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA). 2017. P. 1–4. DOI: [10.1109/ICECTA.2017.8252043](https://doi.org/10.1109/ICECTA.2017.8252043).
- ANDREASSON, Henrik et al. Autonomous transport vehicles: Where we are and what is missing. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, IEEE, v. 22, n. 1, p. 64–75, 2015.
- ARATA, Estefania; CAIRES FERREIRA, Amanda de. Blockchain: Aporte Teórico e Sugestões de Aplicações em Diferentes Setores. *FatecSeg - Congresso de Segurança da Informação*, v. 1, out. 2021. Disponível em: <https://www.fatecourinhos.edu.br/fatecseg/index.php/fatecseg/article/view/15>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. *Carrefour amplia rastreabilidade de alimentos in natura com uso de blockchain*. 2023. Disponível em: <https://www.abras.com.br/clipping/redes-de-supermercados/73123/carrefour-amplia-rastreabilidade-de-alimentos-in-natura-com-uso-de-blockchain>. Acesso em: 17 janeiro de 2023.
- BODKHE, Umesh; MEHTA, Dhyey et al. A survey on decentralized consensus mechanisms for cyber physical systems. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 54371–54401, 2020.
- BODKHE, Umesh; TANWAR, Sudeep et al. Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 79764–79800, 2020.
- BRASIL. Estratégia de Governo Digital. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 abr. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10332.htm.

- BRASIL MINING SITE. *Rastreando as emissões de carbono da mineração com blockchain*. 2023. Disponível em: <https://brasilminingsite.com.br/tracing-minings-carbon-emissions-with-blockchain/>. Acesso em: 11 janeiro de 2023.
- CARREFOUR. *A Cadeia Alimentar*. 2023. Disponível em: <https://www.carrefour.com/fr/groupe/la-transition-alimentaire/la-blockchain-alimentaire>. Acesso em: 06 janeiro 2023.
- CHEN, Jinchuan; XUE, Yunzhi. Bootstrapping a blockchain based ecosystem for big data exchange. In: IEEE. 2017 IEEE international congress on big data (bigdata congress). 2017. P. 460–463.
- CONTI, Mauro et al. A survey on security and privacy issues of bitcoin. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 20, n. 4, p. 3416–3452, 2018.
- CRIPTONOTICIAS. *O que é uma cadeia de blocos blockchain*. 2022.
- DOUTOR IOT. *Indústria 4.0 o que é*. 2023. Disponível em: <https://www.doutoriot.com.br/negocios/industria-40/o-que-e/>. Acesso em: 13 janeiro de 2023.
- EKBLAW, Ariel et al. A Case Study for Blockchain in Healthcare : “ MedRec ” prototype for electronic health records and medical research data. In.
- EXAME. *Como funciona a tecnologia blockchain*. 2023. Disponível em: <https://exame.com/future-of-money/como-funciona-a-tecnologia-blockchain/>. Acesso em: 27 de janeiro de 2023.
- FERNANDEZ-CARAMES, Tiago M; FRAGA-LAMAS, Paula. A review on the application of blockchain to the next generation of cybersecure industry 4.0 smart factories. *Ieee Access*, IEEE, v. 7, p. 45201–45218, 2019.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. An intelligent power outlet system for the smart home of the Internet of Things. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 11, n. 11, p. 214805, 2015.
- GIL, Antonio Carlos et al. *Como elaborar projetos de pesquisa*. Atlas São Paulo, 2002. v. 4.
- GUÉRIN, François et al. UAV-UGV cooperation for objects transportation in an industrial area. In: IEEE. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2015. P. 547–552.
- GUPTA, M. *Blockchain for Dummies*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2018. (–For dummies). ISBN 9781119545934. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=sjLfvGEACAAJ>.
- HARRISON, Robert; VERA, Daniel; AHMAD, Bilal. Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 104, n. 5, p. 973–985, 2016.

- HIRSH, Sandra et al. Blockchain: One emerging technology—so many applications. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 55, n. 1, p. 691–693, 2018.
- HUR, Chang-Hoi et al. Changes of Cyber-Attacks Techniques and Patterns after the Fourth Industrial Revolution. In: 2017 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW). 2017. P. 69–74. DOI: [10.1109/FiCloudW.2017.79](https://doi.org/10.1109/FiCloudW.2017.79).
- ITFORUM. *blockchain como uma das metas da estratégia de governo digital no Brasil*. 2023. Disponível em: <https://itforum.com.br/colunas/blockchain-como-uma-das-metas-da-estrategia-de-governo-digital-no-brasil/>. Acesso em: 20 janeiro de 2023.
- ITFORUM. *blockchain e cooperação no combate ao coronavirus*. 2023. Disponível em: <https://itforum.com.br/colunas/blockchain-e-cooperacao-no-combate-ao-coronavirus/>. Acesso em: 23 janeiro de 2023.
- ITFORUM. *Tudo o que você queria saber sobre blockchain e tinha receio de perguntar*. 2022. Disponível em: <https://itforum.com.br/noticias/tudo-o-que-voce-queria-saber-sobre-blockchain-e-tinha-receio-de-perguntar/>. Acesso em: 25 outubro 2022.
- JAVAID, Mohd et al. Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review. *Blockchain: Research and Applications*, Elsevier, v. 2, n. 4, p. 100027, 2021.
- JESUS BEZERRA, Debora de. *Aprendendo criptologia de forma criativa*. 2010. Disponível em: http://www.mat.ufpb.br/bienalsbm/arquivos/Oficinas/PedroMalagutti-TemasInterdisciplinares/Aprendendo_Criptologia_de_Forma_Divertida_Final.pdf.
- JUNIOR, Jorge Figueiredo. *IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA DISRUPTIVA DO BLOCKCHAIN NO ENFRENTAMENTO A CORRUPÇÃO*, 2020.
- KARAFILOSKI, Elena; MISHEV, Anastas. Blockchain solutions for big data challenges: A literature review. In: IEEE. IEEE EUROCON 2017-17th International Conference on Smart Technologies. 2017. P. 763–768.
- KOLLMÖGEN. 2022. Disponível em: <https://www.kollmorgen.com/pt-br/>. Acesso em: dezembro de 2022.
- LI, Shuling. Application of Blockchain Technology in Smart City Infrastructure. In: 2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT). 2018. P. 276–2766. DOI: [10.1109/SmartIoT.2018.00056](https://doi.org/10.1109/SmartIoT.2018.00056).
- LIMA, Pâmela Murta Castro. *As tecnologias disruptivas aplicadas em impressoras 3D: sua versatilidade de produção no combate a COVID-19*. 2022. F. 55. Monografia (TCC) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- LU, Qinghua; XU, Xiwei. Adaptable blockchain-based systems: A case study for product traceability. *Ieee Software*, IEEE, v. 34, n. 6, p. 21–27, 2017.

- MAÇOLI, FÁBIO. *Blockchain Advanced: Fundamentação Tecnológica Blockchain*. 2022. Disponível em: <https://on.fiap.com.br/mod/conteudospdf/view.php?c=3911&id=174962>. Acesso em: 28 outubro 2022.
- MAKHDOOM, Imran et al. Blockchain's adoption in IoT: The challenges, and a way forward. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 125, p. 251–279, 2019.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. atlas, 2003.
- MIERS, Charles C. Análise de mecanismos para consenso distribuído aplicados a Blockchain. In: SBSEG 2019 - XIX Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais. 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/download/85/374/638-1>.
- MILLER, Dennis. Blockchain and the internet of things in the industrial sector. *IT professional*, IEEE, v. 20, n. 3, p. 15–18, 2018.
- MINGXIAO, Du et al. A review on consensus algorithm of blockchain. In: IEEE. 2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC). 2017. P. 2567–2572.
- MUNERA, Eduardo et al. Control kernel in smart factory environments: Smart resources integration. In: IEEE. 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). 2015. P. 2002–2005.
- MUZAMMAL, Muhammad; QU, Qiang; NASRULIN, Bulat. Renovating blockchain with distributed databases: An open source system. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 90, p. 105–117, 2019.
- NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, p. 21260, 2008.
- NARAYANAN, Arvind et al. *Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction*. Princeton University Press, 2016.
- OFICINA DA NET. *O que é p2p e como ela funciona*. 2022. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/14046-o-que-e-p2p-e-como-ela-funciona>. Acesso em: 28 outubro 2022.
- OLHAR DIGITAL. *Os algoritmos de consenso das blockchains*. 2022. Disponível em: https://olhardigital.com.br/2018/12/03/pro/os_algoritmos_de_consenso_dos_blockchains/. Acesso em: 18 novembro 2022.
- PEQUENAS EMPRESAS E GRANDES NEGÓCIOS. *Ele usa blockchain para aprimorar a gestão do lixo*. 2023. Disponível em: <https://revistapegn.globo.com/Startups/noticia/2018/09/ele-usa-blockchain-para-aprimorar-gestao-do-lixo.html>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

- PETERSON, Kevin et al. A Blockchain-Based Approach to Health Information Exchange Networks.(2016). URL: <https://www.healthit.gov/sites/default/files/12-55-blockchain-based-approach-final.pdf> [accessed 2019-09-05], 2016.
- PLATAFORMA VERDE. *GreenPlat*. 2023. Disponível em: <https://greenplat.com/>. Acesso em: 10 janeiro 2023.
- POYATOS, HENRIQUE. *Blockchain Advanced: Fundamentação Tecnológica Blockchain*. 2022. Disponível em: <https://on.fiap.com.br/mod/conteudospdf/view.php?c=3911&id=174962>. Acesso em: 28 outubro 2022.
- PPLWARE. *criptografia simétrica e assimétrica. Sabe a diferença?* 2022. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/tutoriais/networking/criptografia-simetrica-e-assimetrica-sabe-a-diferenca/>. Acesso em: 10 novembro 2022.
- PROJETO DRAFT. *A plataforma verde é o primeiro software do mundo a usar blockchain para a gestão de resíduos industriais*. 2023. Disponível em: <https://www.projetedraft.com/a-plataforma-verde-e-o-primeiro-software-do-mundo-a-usar-blockchain-para-a-gestao-de-residuos-industriais/>. Acesso em: 10 janeiro de 2023.
- PUTHAL, Deepak et al. Everything you wanted to know about the blockchain: Its promise, components, processes, and problems. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, IEEE, v. 7, n. 4, p. 6–14, 2018.
- QUEIROZ, Maciel M.; FOSSO WAMBA, Samuel. Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, v. 46, p. 70–82, 2019. ISSN 0268-4012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401218309447>.
- RAWAT, Danda B et al. iShare: Blockchain-based privacy-aware multi-agent information sharing games for cybersecurity. In: IEEE. 2018 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). 2018. P. 425–431.
- RIBEIRO, Lucas. *Introdução à Blockchain e Contratos Inteligentes*. Repositório Institucional da UFSC, 2021. Relatório Técnico do INE - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/221495/RT-INE2021-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- SILVA, Clodoaldo Cristiano da. *Blockchain: um estudo da descentralização da tecnologia da computação na quarta revolução industrial e seu impacto sócio-ambiental*. Universidade Federal Fluminense, 2018.
- SIMPLY. *Blockchain saiba o que é e como pode ser usado*. 2022. Disponível em: <https://blog.simply.com.br/blockchain-saiba-o-que-e-e-como-pode-ser-usado/>. Acesso em: 19 outubro 2022.

- STALLINGS, William. *Cryptography and network security, 4/E*. Pearson Education India, 2006.
- SWAN, Melanie. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*.—O'Reill Media. Inc., Sebastopol, CA, 2015.
- TESLYA, Nikolay; RYABCHIKOV, Igor. Blockchain-based platform architecture for industrial IoT. In: IEEE. 2017 21st Conference of Open Innovations Association (FRUCT). 2017. P. 321–329.
- TIAN, Feng. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In: 2017 International Conference on Service Systems and Service Management. 2017. P. 1–6. DOI: [10.1109/ICSSSM.2017.7996119](https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119).
- VOITTO. *O que é rede p2p*. 2022. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-rede-p2p>. Acesso em: 6 de dezembro de 2022.
- VORA, Jayneel et al. Ensuring Privacy and Security in E- Health Records. In: 2018 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS). 2018. P. 1–5. DOI: [10.1109/CITS.2018.8440164](https://doi.org/10.1109/CITS.2018.8440164).
- WANG, Hao et al. Big data and industrial Internet of Things for the maritime industry in Northwestern Norway. In: IEEE. TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference. 2015. P. 1–5.
- WINKLER-GOLDSTEIN, Raphaël et al. Fractal Production Reprogramming “Industrie 4.0” Around Resource and Energy Efficiency? In: IEEE. 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe). 2018. P. 1–5.
- YUE, Xiao et al. Healthcare data gateways: found healthcare intelligence on blockchain with novel privacy risk control. *Journal of medical systems*, Springer, v. 40, n. 10, p. 1–8, 2016.
- ZHAO, Guoqing et al. 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.
- ZHAO, Yanqi et al. Secure pub-sub: Blockchain-based fair payment with reputation for reliable cyber physical systems. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 12295–12303, 2018.