

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HENRIQUE CAMPOS LOURENÇO

**DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO EMPREGO DO *BLOCKCHAIN* COMO
SUPORTE ÀS DEMAIS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

JUIZ DE FORA

2025

HENRIQUE CAMPOS LOURENÇO

**DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO EMPREGO DO *BLOCKCHAIN* COMO
SUPORTE ÀS DEMAIS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Orientador: DSc, Mariana Paes da Fonseca

JUIZ DE FORA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA - BIBLIOTECA UFJF

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lourenço, Henrique Campos.

Oportunidades e desafios no emprego do blockchain como suporte às demais tecnologias da indústria 4.0 / Henrique Campos Lourenço. -- 2025.

94 p. : il.

Orientadora: Mariana Paes da Fonseca

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2025.

1. Blockchain. 2. Indústria 4.0. 3. Oportunidades. 4. Desafios. I. Fonseca, Mariana Paes da, orient. II. Título.


HENRIQUE CAMPOS LOURENÇO

**DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO EMPREGO DO BLOCKCHAIN COMO
SUPORTE ÀS DEMAIS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Aprovada em 14 de março de 2025.

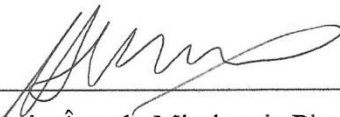
BANCA EXAMINADORA



D. Sc., Mariana Paes da Fonseca
Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora



D. Sc., Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Diante da conclusão de minha graduação em Engenharia de Produção, gostaria de expressar minha gratidão àqueles que desempenharam papéis essenciais durante toda a minha formação pessoal, acadêmica e profissional. Agradeço, primeiramente à minha mãe, aos meus avós e a toda a minha família, que sempre, não só me incentivou, como também me forneceu todos os meios para que eu me dedicasse aos estudos.

Não posso também deixar de agradecer a todos os professores que contribuíram para a minha formação, desde os do primário até os que me lecionaram na universidade ao longo desses últimos cinco anos. Em especial, à minha professora e orientadora Mariana, por todo o apoio, dedicação e orientação, que começaram desde o meu primeiro contato com ela na faculdade.

Reconheço, ainda, todo o apoio dos meus amigos nessa jornada. Sem eles, os momentos vividos não teriam sido tão bons, tranquilos e divertidos, desde os mais desafiadores até as celebrações e comemorações.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os segmentos da UFJF e às empresas os quais fiz parte. Especialmente à SEEPRO e à Crescento, que me ensinaram, principalmente, sobre parceria, liderança, dedicação e o mercado de trabalho.

A todos vocês, inclusive àqueles que não foram mencionados diretamente, mas que fizeram parte dessa jornada, minha eterna gratidão!

RESUMO

Conhecido principalmente por ser a tecnologia por trás das criptomoedas, o *blockchain* tem emergido como uma solução para suportar também as tecnologias que compõem a Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IOT), *Big Data* e Manufatura Aditiva. Isso ocorre porque é uma tecnologia que garante segurança, rastreabilidade, transparência e descentralização, indo muito além das transações financeiras. Devido a isso, é imperativo estudar sobre a interseção entre essas tecnologias, investigando qual será os impactos disso no futuro. Nesse sentido, a presente pesquisa baseia-se na análise qualitativa, abordando a opinião de oito especialistas em ambas as áreas, porém atuantes em diferentes setores da economia, acerca dos impactos, possibilidades, pontos positivos e negativos da adoção do *blockchain* no Brasil. Como principais resultados destas entrevistas, destacam-se a utilização da tecnologia em todos os nove pilares e a sua relação com os seis princípios da Indústria 4.0. Além disso, essas entrevistas também abordaram os principais casos de uso já existentes e possíveis no Brasil, incluindo não só o seu uso na economia real, tanto para eficiência operacional como para governança empresarial e governamental, como também o seu uso na economia financeira, como no DREX, a CBDC brasileira.

Palavras-chave: *Blockchain*; Indústria 4.0; Oportunidades; Desafios.

ABSTRACT

Known mainly as the technology behind cryptocurrencies, blockchain has emerged as a solution to support the technologies that make up the smart factory, such as the Internet of Things (IoT), Big Data, and Additive Manufacturing. This takes place because it is a technology that guarantees security, traceability, transparency, and decentralization, extending far beyond financial transactions. Due to this, it is imperative to study the intersection among these technologies, investigating what the impacts of this will be in the future. In this sense, this research is based on qualitative analysis, gathering the opinions of eight specialists in both fields, but working in different sectors of the economy, regarding the advantages, opportunities, disadvantages and obstacles of adopting blockchain in Brazil. The main results of these interviews are the use of technology in all nine pillars and its relationship with the six principles of smart factory. In addition, these interviews also approached the major use cases that already exist and are possible in Brazil, including not only its use in the real economy, both for operational efficiency and for corporate and government governance, but also its application in the financial economy, such as DREX, the Brazilian CBDC.

Keywords: *Blockchain*, Smart Factory, CBDC, Opportunities, Challenges

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Crescimento Real do PIB Global	15
Figura 2: Demonstração de uma rede <i>peer-to-peer</i>	23
Figura 3: Demonstração do <i>Timestamp</i>	24
Figura 4: Utilização da árvore Merkle em uma cadeia de blocos	25
Figura 5: Execução de um <i>Smart Contract</i>	26
Figura 6: Pilares da Indústria 4.0.....	29
Figura 7: 5Vs do <i>big data</i>	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Informações básicas dos entrevistados	44
Quadro 2: Síntese Pilares Indústria 4.0 e <i>Blockchain</i>	63
Quadro 3: Vantagens do <i>Blockchain</i>	81
Quadro 4: Oportunidades do <i>Blockchain</i>	81
Quadro 5: Desvantagens do <i>Blockchain</i>	82
Quadro 6: Entraves ao <i>Blockchain</i>	82
Quadro 7: Oportunidades e Vantagens do DREX	83
Quadro 8: Entraves e Desvantagens do DREX	84

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

IOT - INTERNET DAS COISAS

CAGR – TAXA DE CRESCIMENTO ANUAL COMPOSTA

USD – DÓLARES AMERICANOS

PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO

POW – PROVA DE TRABALHO

POS – PROVA DE PARTICIPAÇÃO

POI – PROVA DE IMPORTÂNCIA

RFID – IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA

NFC – COMUNICAÇÃO POR CAMPOS PRÓXIMOS

GPS – SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

MA – MANUFATURA ADITIVA

WIP – ESTOQUE EM PROCESSO

TI – TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

PLC – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

IA – INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CBDC - *CENTRAL BANK DIGITAL CURRENCY*

ZKP - *ZERO KNOWLEDGE PROOF*

RWA – *REAL WORD ASSETS*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 ESCOPO DO TRABALHO	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.4 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 BLOCKCHAIN.....	20
2.1.1 ANALOGIA HISTÓRICA – ILHA YAP	20
2.1.2 TOKEN.....	20
2.1.3 BLOCOS	21
2.1.4 CADEIA DE BLOCOS (<i>BLOCKCHAIN</i>)	21
2.1.5 MINERAÇÃO DE BLOCOS E FORMAS DE CONSENSO	21
2.1.6 <i>PEER-TO-PEER</i> , REDE E NODOS.....	22
2.1.7 CHAVES PÚBLICAS E PRIVADAS	23
2.1.8 <i>TIMESTAMP</i>	24
2.1.9 ÁRVORE <i>MERKLE</i>	24
2.1.10 FUNÇÃO <i>HASH</i> CRIPTOGRÁFICA	25
2.1.11 CONTRATOS INTELIGENTES (<i>SMART CONTRACTS</i>).....	25
2.1.12 TIPOS DE <i>BLOCKCHAIN</i>	26
2.1.13 WEB 1, WEB 2 E WEB 3	27
2.2 INDÚSTRIA 4.0.....	28
2.2.1 PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	28
2.2.2 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0	29
3. DESENVOLVIMENTO.....	43
3.1 PROTOCOLO DE PESQUISA	43
3.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA	44
3.3 ASSOCIAÇÕES PERCEBIDAS ENTRE O BLOCKCHAIN E OS PILARES	45

3.3.1	BIG DATA & ANALYTICS.....	45
3.3.2	ROBÔS AUTÔNOMOS.....	49
3.3.3	SIMULAÇÃO.....	50
3.3.4	REALIDADE AUMENTADA.....	50
3.3.5	INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS.....	52
3.3.6	MANUFATURA ADITIVA.....	54
3.3.7	CIBERSEGURANÇA.....	55
3.3.8	COMPUTAÇÃO EM NUVEM.....	58
3.3.9	INTERNET DAS COISAS.....	60
3.3.10	SÍNTESE DAS DISCUSSÕES.....	63
3.4	CENÁRIO BRASILEIRO.....	66
3.4.1	VANTAGENS E OPORTUNIDADES NO BRASIL.....	66
3.4.2	DESVANTAGENS E ENTRAVES NO BRASIL.....	75
3.4.3	QUADRO SÍNTESE.....	81
4.	<u>CONCLUSÃO</u>	<u>84</u>
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>87</u>
	<u>ANEXO 1 – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS</u>	<u>93</u>
	<u>ANEXO 2 – TERMO DE AUTENTICIDADE</u>	<u>94</u>

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, também chamada de *smart factory*, é caracterizada por uma evolução dos sistemas indústrias anteriores, com uma estrutura integrada com diversas tecnologias que permite desde simulações até possuir informações em tempo real por meio do uso de sensores (Santos *et al.*, 2018). Embora originalmente voltada para o chão de fábrica, sua compreensão hoje é mais abrangente, incluindo serviços e o agronegócio.

No entanto, mesmo com o esforço dispendido por governos, organizações e acadêmicos, o sucesso da Indústria 4.0 ainda perpassa por alguns desafios. Esses desafios são diversos, como a segurança e a proteção da informação digital, que se tornam riscos maiores a partir do aumento de “dispositivos inteligentes” e da necessidade de salvaguardar propriedades intelectuais e de dados sensíveis, além dos desafios relacionados aos processos e à organização de trabalho, à padronização e a interoperabilidade de sistemas de comunicação e à integração da cadeia produtiva com as pequenas e médias empresas (Santos *et al.*, 2018).

Nessa conjuntura, é cada vez mais necessário entender o *blockchain* e o valor de sua implementação na Indústria 4.0. Essa tecnologia já vem sendo frequentemente utilizada em algumas áreas específicas da indústria, como em transações financeiras e na logística, com expectativas dela ser cada vez mais presente no dia a dia das indústrias (Leme, 2021).

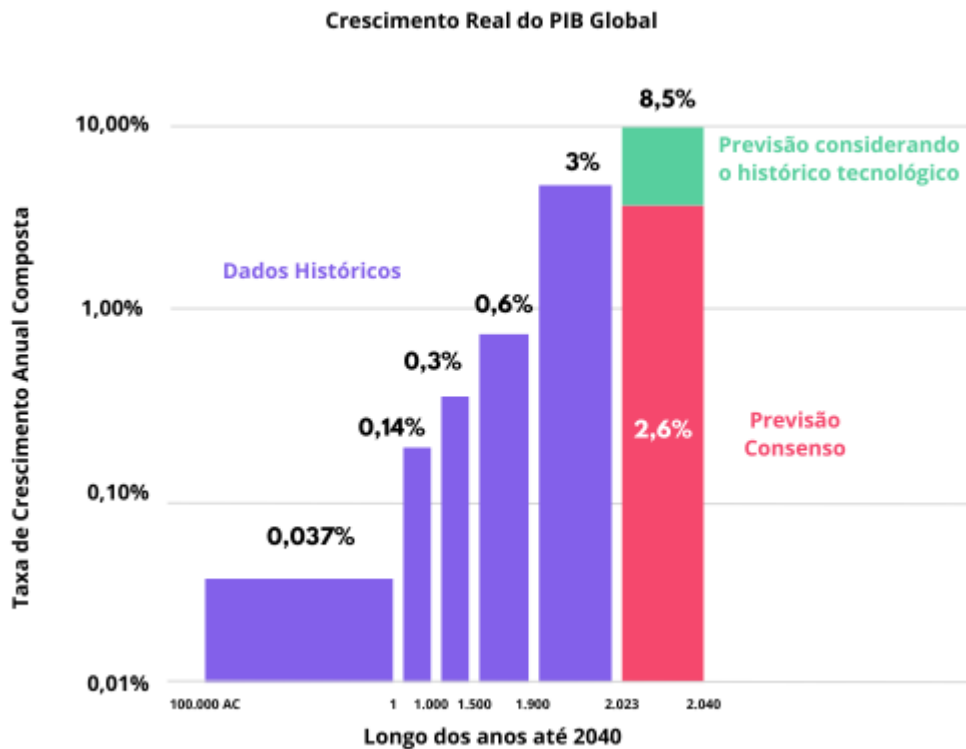
Entre as aplicações do *blockchain*, a Ark Invest projeta que o valor de mercado dos *smart contracts* (que são contratos inteligentes autoexecutáveis nativos da *blockchain*), que em 2023 foi de US\$ 775 bilhões, será de mais de US\$ 5 trilhões em 2030 (Ark, 2024). Ainda, o relatório afirma que o volume transacionado em *stablecoins* (criptomoedas lastreadas em dinheiro fiduciário) em 2023 foi superior ao volume transacionado pela Mastercard no mesmo período (Ark, 2024).

A Mordor Intelligence (2023) avaliou o mercado de *blockchain* na indústria em US\$ 1,3 bilhões em 2022 e prevê um CAGR (taxa de crescimento anual composta) de 76,26% para o uso de *blockchain* na indústria, entre 2024 e 2029, indicando como principais atores (*players*) a Amazon, Wipro, IBM, Intel e Microsoft. Além disso, o relatório também considera como uma das principais premissas para esse crescimento sendo a expansão da Indústria 4.0.

Ademais, a Ark projeta um PIB global de 470 trilhões em 2040, ou seja, um crescimento médio anual de 8,5% a partir de 2021, quando o PIB global foi de US\$ 100 trilhões. Como forma de comparação, esse crescimento médio anual real do PIB foi de 3% entre 1900 e

2021, conforme o histórico é mostrado na Figura 1. A expectativa desse aumento no crescimento da produtividade global é devida exatamente a essas novas tecnologias (Ark, 2023).

Figura 1: Crescimento Real do PIB Global



Fonte: Adaptado de Ark (2023)

Por mais que essa tecnologia já esteja gerando benefícios para a sociedade, com potenciais de aumentar exponencialmente esses benefícios no futuro, no Brasil, sua adoção ainda enfrenta desafios significativos, entre eles a falta de uma infraestrutura digital robusta e de mão de obra capacitada para operar essas inovações. O relatório da Mordor Intelligence (2023) corrobora isso ao mostrar toda a América do Sul, inclusive o Brasil, com uma baixa taxa de crescimento da utilização do *blockchain* nas indústrias, enquanto classifica esse crescimento como alto na América do Norte.

Portanto, é necessário que o Brasil se adeque para não ficar atrasado em relação aos outros países, o que resultaria em uma perda de diferencial competitivo nas cadeias produtivas e nas redes de inovação globais. Na tentativa de combater esse atraso, o governo brasileiro cita o *blockchain* como uma tecnologia com grande potencial de aplicação e que já é objeto de análise e experimentos-piloto, inclusive na Administração Pública Federal (BRASIL, 2018)

Atualmente, já existem iniciativas e projetos oficiais para incentivar seu uso. Entre os projetos existentes, o mais notável é o DREX, proposto pelo Banco Central do Brasil e que aumentará a segurança e a eficiência em transações financeiras, permitindo, entre outras diversas possibilidades, o uso de *smart contracts* em situações como a compra de bens e transações mais sofisticadas. Basicamente, o DREX será uma rede *blockchain* integrada ao sistema financeiro oficial do Brasil, no qual os bancos regulados farão a conversão do dinheiro entre os sistemas (BCB, s.d.)

Em outra publicação significativa do governo, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2024), publicou em janeiro de 2024 uma cartilha sobre como o *blockchain* pode inovar em doze diferentes setores da indústria, analisando, para cada um deles, novas possibilidades de: (i) monetização, (ii) eficiência e geração de valor operacional e (iii) redução de custos.

Conforme notado, o Brasil, como Estado, já estuda e desenvolve aplicações baseadas em *blockchain*. Entretanto, ainda há poucas publicações acadêmicas sobre os benefícios dessa tecnologia para a indústria brasileira. Nesse contexto, o presente estudo torna-se relevante para aprofundar o material acadêmico sobre a interseção do *blockchain* com a indústria, e nomeadamente seus elementos ligados às quarta e quinta revoluções industriais.

Ao fim desse estudo, espera-se que o leitor compreenda a forma como o *blockchain* se conecta com a sociedade brasileira e identifique quais são as possibilidades de uso e os desafios para seu uso na indústria.

1.1 JUSTIFICATIVA

Percebe-se, dessa forma, que a Indústria 4.0 perpassa por diversos desafios, que serão detalhados no próximo capítulo. Nesse contexto, é imperativo estudar as tecnologias, como o *blockchain*, que possuem potencial de revolucionar a indústria como um todo, bem como de mitigar ou eliminar as contingências.

Durante a procura por materiais acadêmicos com a palavra-chave *blockchain*, o autor notou que ainda há poucos estudos brasileiros sobre o tema. Tornando relevante, por conseguinte, a publicação de estudos que abordam a tecnologia.

A intenção pessoal do autor com esta pesquisa é aprofundar ainda mais seu conhecimento em uma tecnologia que vem estudando há quatro anos. Além disso, acredita que

todos esses aprendizados expostos aqui são fundamentais para um engenheiro de produção, que deve ter um olhar amplo sobre tudo o que acontece na indústria.

Pessoalmente, o autor também acredita que em breve toda a sociedade utilizará o *blockchain* nas atividades diárias. Portanto, adquirir esses conhecimentos enquanto ainda pouco se discute sobre o assunto no país é, sem dúvidas, um enorme diferencial no mercado.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

O estudo em pauta busca responder sobre os obstáculos e as oportunidades de implementação do *blockchain* junto às tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil. Isso se deu por meio da aplicação de entrevistas semiestruturadas com especialistas, que serão detalhadas no subcapítulo seguinte.

Os respondentes da pesquisa são profissionais brasileiros que, ainda que trabalhem em multinacionais ou estudem no exterior, possuem no mínimo um ano de experiência com *blockchain* e estão ligados ao emprego ou ao estudo dessa tecnologia em manufatura ou em serviços. As entrevistas foram feitas entre os meses de outubro e dezembro de 2024.

Além disso, a qualificação dos entrevistados também foi validada por meio de um formulário, que foi enviado para todos os respondentes perguntando sobre a familiaridade com cada pilar da Indústria 4.0. Notas acima de 7 (em uma escala de 1 a 10) foram consideradas aptas para essa pesquisa, além de passarem por uma prévia verificação do seu histórico profissional.

No entanto, o trabalho apresenta algumas limitações pertinentes, como o tempo disponível para a realização das entrevistas e o acesso restrito a respondentes qualificados que compreendem tanto o *blockchain* quanto as demais tecnologias da Indústria 4.0, o que limitou o número de participantes. Nesse sentido, torna-se pertinente observar que, como todos os entrevistados trabalham com aplicações de *blockchain*, pode haver um viés pró-tecnologia em suas percepções.

Além dessas, outra restrição diz respeito às especificidades de aplicação em diferentes setores. Por conseguinte, as conclusões aqui apresentadas não poderão ser generalizadas.

Por fim, por mais que todos os respondentes sejam profissionais altamente qualificados e experientes, não foi possível validar as respostas deles entre os pares, tendo sido todas, portanto, consideradas.

1.3 OBJETIVOS

Frente aos desafios percebidos no contexto, o objetivo desse estudo é identificar e descrever, sob o prisma de especialistas em *blockchain*, quais são os principais obstáculos e oportunidades para adoção dessa tecnologia no Brasil, em associação com as demais relacionadas aos pilares da Indústria 4.0.

Além desse objetivo geral, o estudo também tem como objetivos específicos a identificação das possibilidades vigentes de uso no Brasil, considerando as oportunidades e os desafios do uso da tecnologia, incluindo uma análise dos pontos positivos e negativos da implementação do DREX, a CBDC brasileira. Outro objetivo desse estudo é a identificação dos principais desafios das tecnologias da Indústria 4.0 já levantados na literatura (estado da arte) e como o *blockchain* poderia, ou não, resolvê-los.

1.4 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é classificada por Gil (2002) como uma pesquisa exploratória, pois o estudo pretende proporcionar mais familiaridade com o tema, com vista a tornar as oportunidades mais explícitas. O presente estudo será de natureza aplicada e qualitativa, mediante entrevistas semiestruturadas. As entrevistas seguiram o seguinte passo a passo:

1. Escolha do grupo de especialistas;
2. Construção do roteiro 1 (disponível no Anexo 1);
3. Contato com os especialistas e convite para participação;
4. Rodada de entrevistas;
5. Análise qualitativa das respostas;

Os critérios de seleção para a entrevista foram: (i) profissionais que atuam há pelo menos 1 ano com *blockchain*, (ii) pessoas que possuem conhecimento em pelo menos dois pilares da Indústria 4.0, (iii) encontradas através de comunidades online de especialistas voltadas à troca de conhecimento e *networking* ou por redes sociais como o *LinkedIn*.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído por quatro capítulos principais, cuja estrutura é descrita abaixo.

O capítulo 1 explicita o contexto e o planeamento da pesquisa, acerca dos seus objetivos e metodologias para alcançá-lo, bem como o escopo e suas limitações.

No capítulo 2, o leitor encontrará o referencial teórico, que é dividido em dois subcapítulos: o primeiro aborda conceitos fundamentais do *blockchain*, enquanto o segundo aborda os princípios e os pilares da Indústria 4.0.

Já no capítulo 3, o autor tem por objetivo descrever os principais resultados das entrevistas em blocos e analisá-los. Por fim, o capítulo 4 é destinado para as conclusões do trabalho e considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordadas especificidades das tecnologias já existentes do *blockchain* e da Indústria 4.0, com o fito de demonstrar ao leitor as características individuais de cada uma dessas tecnologias, para então, abordar posteriormente como elas se complementam.

2.1 *BLOCKCHAIN*

O *blockchain* foi concebido em um protocolo publicado por Satoshi Nakamoto em 2008 para ser a tecnologia base do *Bitcoin*, um sistema de dinheiro eletrônico ponto a ponto (Nakamoto, 2008). Para entender essa tecnologia, cabe apresentar uma analogia histórica antes que suas partes-chave sejam explicitadas.

2.1.1 Analogia histórica – Ilha Yap

Em uma pequena ilha da micronésia, está localizado um dos sistemas financeiros mais “sólidos” do mundo. A ilha Yap possui uma estrutura econômica centenária, na qual os cidadãos transacionam, literalmente, rochas entre si. Essas rochas são removidas de uma pedreira de difícil acesso e possuem entre 75 centímetros e 3,5 metros de diâmetro cada, com um buraco no centro para facilitar o transporte. Cada pedra, chamada de Rochas Rai, possui um valor único intangível, considerando a história, condição da pedra (se inteira, rachada ou quebrada) e o tamanho dela. Por isso, é comum as pessoas transacionarem as pedras sem movê-las, fazendo a contabilidade mentalmente e o reconhecimento da transação sendo validado pela própria sociedade (Mankiw, 2009 *apud* Lyra, 2019).

Esse sistema monetário é análogo ao *blockchain*, pois nele (i) não há intermediários, como bancos; (ii) é necessário um consenso da sociedade para se ter a propriedade de um item; (iii) para burlar o sistema, é necessário a ajuda de outros participantes; (iv) as rochas são expostas para todo o público, ou seja, a segurança é a transparência (Lyra, 2019).

2.1.2 Token

Um *token* é uma unidade de troca que está presente em uma cadeia de blocos, eles podem assumir diversas funções, como votos, registros, direitos de propriedade, ativos,

identidade ou moeda. Eles também podem assumir mais de uma dessas funções ao mesmo tempo, sendo chamados de híbridos (Antonopoulos; Wood, 2018 *apud* Lyra, 2019).

2.1.3 Blocos

Um bloco é formado pelo conjunto de múltiplas transações, fazendo referência ao bloco anterior e carimbadas pelo registro de tempo. Os blocos que são validados pela rede são adicionados ao *blockchain* (Antonopoulos, 2014 *apud* Lyra, 2019).

2.1.4 Cadeia de Blocos (*blockchain*)

O termo *blockchain* é um termo em inglês e tem tradução literal de cadeia de blocos (*block-chain*). Sabido isso, o *blockchain* é a sequência irreversível de blocos com registros imutáveis e distribuídos que foram validados pelo algoritmo de consenso, que será explicado no subcapítulo seguinte, e incorporados à rede (Lyra, 2019).

2.1.5 Mineração de Blocos e Formas de Consenso

O processo de criação de um bloco é chamado de mineração. Estes blocos são criados por nodos conhecidos como mineradores, que verificam e consolidam cada transação armazenada no bloco. Após este processo, se todas as transações forem consideradas válidas, o nó adiciona o bloco na cópia local da *blockchain* e a propaga pela rede. (Antonopoulos, 2014 *apud* Lyra, 2019)

A forma de consenso, também chamada de algoritmo de consenso, de uma rede é como ela valida suas transações e consequente criação dos blocos (Zheng *et al.*, 2018 *apud* Lyra, 2019) e pode ser entendida como uma forma de determinar qual minerador irá criar o próximo bloco da cadeia (Tapscott, 2016), podendo tomar várias formas, entre elas:

- ***Proof-of-Work (PoW) – Prova de Trabalho***

A prova de trabalho é a forma de consenso nativa do *Bitcoin* e é realizada por um algoritmo que envolve a busca de um valor que, quando calculado o *hash*, comece com zero *bits*, semelhante ao Hashcash de Adam Back. A verificação desse resultado pode ser feita pela execução de um único *hash*. Este tipo de consenso é basicamente um voto por unidade de poder computacional, e a decisão da maioria desse poder é representada pela cadeia mais longa. Sendo assim, “se a maioria do poder de CPU é

controlado por nós honestos¹, a cadeia honesta vai crescer mais rápido e superar quaisquer cadeias concorrentes” (Nakamoto, 2008).

Como o poder computacional aumenta exponencialmente com o passar do tempo (Moore, 1965) a dificuldade da prova de trabalho pode ser determinada visando um número médio de blocos por unidade de tempo, aumentando a dificuldade caso o poder computacional da rede aumente, como ocorre no caso do *Bitcoin*, que tem média de 10 minutos a cada bloco minerado (Nakamoto, 2008).

- ***Proof-of-Stake (PoS) – Prova de Participação***

A prova de participação, ou prova de posse, é um outro tipo de algoritmo de consenso e busca reduzir o gasto de energia no processo de mineração. Em resumo, esse tipo de mecanismo dá preferência a mineradores que tenham mais a perder em caso de fraude, ou seja, nos casos das criptomoedas, os maiores detentores de *tokens* são os mais prováveis a minerarem os blocos (Kostarev, 2017; Buterin and Griffith, 2017)

- ***Proof-of-Importance (PoI) – Prova de Importância***

A prova de importância, além de exigir que o nodo minerador possua um valor mínimo de *tokens* da rede, assim como o PoS, ela também exige que o usuário tenha executado um valor mínimo de transações em um período, estimulando os nodos tanto a serem detentores de *tokens* quanto a usá-los. Esta forma, assim como o PoS, também exige menos poder computacional e consequente gasto de energia, possibilitando mais escalabilidade de transações (Lyra, 2019).

Além dessas citadas aqui, também existem outras formas de consenso e mineração de *blockchains*, como: prova de participação delegada (DPoS), tolerância prática a falhas bizantinas (PBFT), Paxos e prova de capacidade (Lyra, 2019).

2.1.6 *Peer-to-peer, rede e nodos*

Segundo Satoshi Nakamoto (2008) há um passo a passo de 6 etapas para uma rede ser executada:

- a. Novas transações são transmitidas para todos os nós.

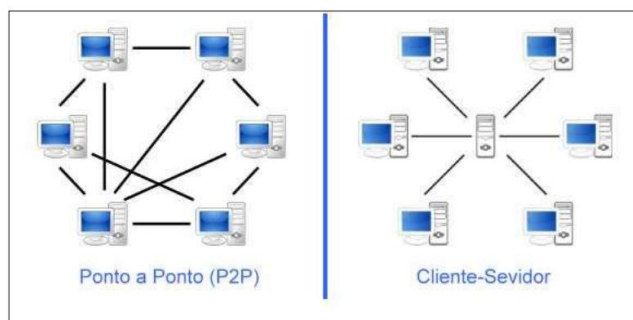
¹ Nós honestos são participantes da rede que seguem as regras do protocolo, validam transações corretamente e contribuem para a segurança da *blockchain* ao sempre priorizar a cadeia mais longa e legítima. De forma contrária, um nó desonesto seria aquele que age de má fé e tenta fraudar a rede de alguma forma, prejudicando demais participantes.

- b. Cada nó coleta novas transações em um bloco.
- c. Cada nó trabalha para encontrar uma prova-de-trabalho para o bloco.
- d. Quando um nó encontra uma prova-de-trabalho, ele transmite o bloco para todos os nós.
- e. Os nós aceitam o bloco somente se todas as suas transações são válidas e já não foram gastas.

Os nós expressam sua aceitação do bloco, trabalhando na criação do próximo bloco na cadeia, usando o *hash* do bloco aceito como o *hash* anterior.

Já uma rede *peer-to-peer* (ponto a ponto) pode ser entendida como uma arquitetura na qual cada um dos computadores (nós) da rede pode assumir a função de servidor ou de cliente, comunicando-se diretamente com outro nó sem passar por um servidor central, como demonstra a Figura 2. Essa comunicação propaga blocos e transações para cada um dos outros computadores que fazem parte da rede (Silva, 2018)

Figura 2: Demonstração de uma rede *peer-to-peer*



Fonte: Silva, 2018

Existem vários tipos de nodos em uma rede, como carteira, que é um endereço de chave pública para a qual se destina as transações e minerador, que consolidam as transações na rede. Entre eles, existem os nodos completos, que também são chamados de *ledger*, e são nodos que possuem a cópia completa e atualizada da cadeia de blocos. Estes podem verificar todas as transações da rede de maneira autoritária e autônoma e, por isso, podem ser traduzidos como livro-razão (Lyra, 2019).

2.1.7 Chaves públicas e privadas

No *blockchain*, há dois tipos de chaves com funções diferentes: a chave pública e a chave privada (Swan, 2015).

A chave pública, também chamada de endereço, assemelha-se com um endereço de e-mail, podendo-se compartilhar com outros nós da rede aquele conjunto de caracteres. Ao criar-

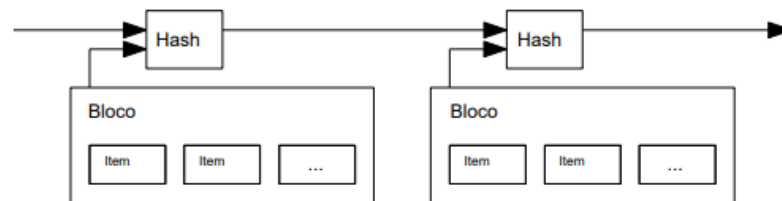
se uma chave pública, é criado simultaneamente uma chave privada para ela (Antonopoulos, 2014 *apud* Lyra, 2019).

A chave privada tem a função de acessar a posse daquele endereço específico e enviar os *tokens* ali presentes para outros endereços. Caso um usuário perca essa chave, ele também perde a posse da carteira, pois não há como mover seus fundos sem ela (Swan, 2015).

2.1.8 *Timestamp*

Um servidor *timestamp* pode ser entendido como um carimbo de tempo que adiciona a data e a hora a cada *hash* gerado. Como cada *timestamp* inclui o anterior em seu *hash*, forma-se uma cadeia, que prova que os dados ali presentes já existiam na época. Dessa forma, cada nova inclusão de um *timestamp* acaba reforçando as informações que estão presentes nos que vieram antes dele, conforme exemplifica a figura 3 (Nakamoto, 2008).

Figura 3: Demonstração do *Timestamp*



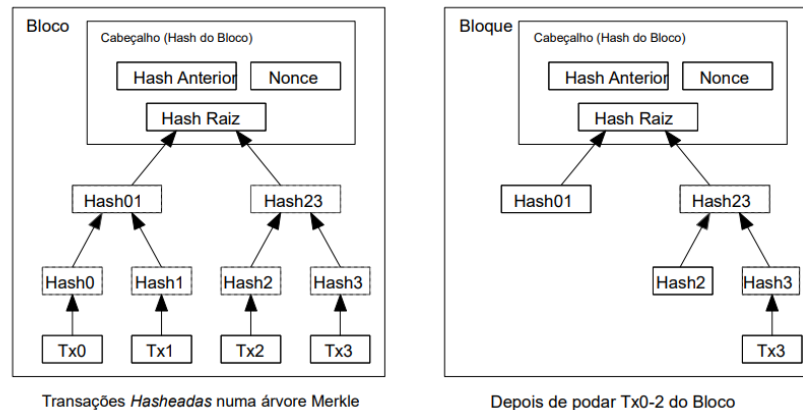
Fonte: Adaptado de Nakamoto (2008)

2.1.9 *Árvore Merkle*

A árvore de *Merkle* é uma teoria desenvolvida por Ralph Merkle ao final da década de 1970 e consiste em uma estrutura de dados em árvore, na qual os nós folha possuem as informações dos nós anteriores. Sendo assim, através dela é possível autenticar a árvore completa, visto que qualquer alteração em um dos nós resultaria em uma alteração de todos os hashes subsequentes. Ainda assim, caso ocorra uma alteração, a estrutura de árvore permite identificar rapidamente o que foi alterado (Merkle, 1982).

Aplicando esta teoria ao *blockchain*, Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008) descreve que, após um suficiente número de blocos gerados, as transações anteriores podem ser compactadas para economizar espaço no disco. A *Árvore Merkle* é utilizada justamente para não quebrar o *hash* do bloco, o que permite incluir apenas a raiz da cadeia, conforme a figura 4.

Figura 4: Utilização da árvore Merkle em uma cadeia de blocos



Fonte: Adaptado de Nakamoto (2008)

2.1.10 Função *hash* criptográfica

Uma função de *hash* simples pode ser escrita como o número $y = h(x)$, e é o valor *hash* de x e transforma dados de comprimento (*bits*) variável em dados de comprimento (*bits*) fixo (Stallings, 2006). Já a função de *hash* criptográfica faz essa transformação de maneira unidirecional. Sendo inviável conseguir reverter essa função, visto que o poder computacional necessário para tal feito é muito superior ao poder necessário para criá-la (Lago, 2017). Algo que, segundo Don Tapscott na conferência mundial da Dell em 2018, é tão difícil que pode ser comparado com transformar um nuggets do McDonald's novamente em uma galinha (Tapscott, 2018; *apud* Lyra, 2019).

Essa função transforma qualquer informação em uma sequência de letras e números que aparenta ser aleatória e é usada nas criações dos endereços, na árvore *merkle* dos blocos, no *timestamp* e em chaves privadas (Lyra, 2019). No entanto, como um novo bloco só é validado caso o *hash* gerado minerador seja válido e referencie o *hash* do bloco anterior (Lago, 2017), o *hash* é frequentemente utilizado para referenciar-se aos registros de transações dentro de um *blockchain* (Lyra, 2019).

2.1.11 Contratos Inteligentes (*Smart Contracts*)

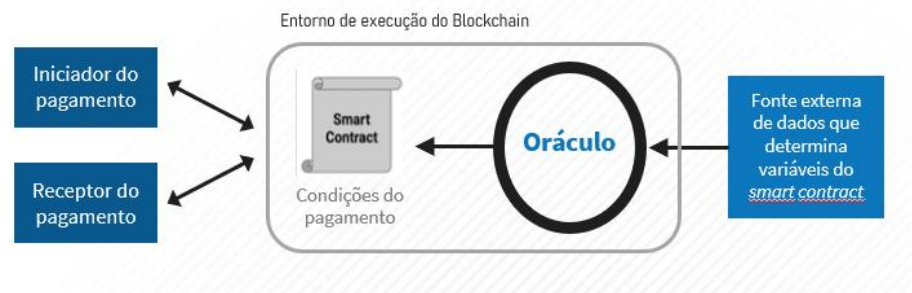
Este termo foi formalizado por Nick Szabo durante a década de 1990 como um protocolo seguro que executa os termos de um contrato, com o objetivo de satisfazer as condições contratuais, minimizar a necessidade de intermediários confiáveis e exceções maliciosas ou acidentais. Isto reduziria as perdas por fraudes, arbitragens, custos de execução e de transação. (Szabo, 2017).

Os contratos inteligentes ampliam consideravelmente as aplicações de caso de uso do *blockchain* (BUTERIN, 2014). Sillaber e Wlatl (2017) dividem os *smart contracts* em três etapas:

- **Arranjos contratuais entre as partes:** as partes, que são identificadas através de seus endereços públicos, negociam os termos a serem acordados e os transformam em códigos autoexecutáveis. Assim, esse código é implementado e armazenado na *blockchain*.
- **Governança de pré-condições:** os nodos e mineradores tornam-se auditores das condições acordadas no contrato.
- **Execução do contrato:** o contrato é executado quando as suas condições prévias são cumpridas e validadas pelos nodos da rede. Com isso, os contratos inteligentes são autoexecutáveis.

Um outro agente importante para a execução de alguns *smart contracts* são os oráculos, que são entidades (centralizadas ou descentralizadas) que comunicam informações de eventos que ocorrem fora da *blockchain*, como resultados oficiais de partidas esportivas em apostas (Swan, 2015), como é exemplificado na figura 5.

Figura 5: Execução de um *Smart Contract*



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

2.1.12 Tipos de *Blockchain*

Buterin (2015) argumenta que há três tipos de *blockchain*, sendo eles:

- ***Blockchain* público:** é um *blockchain* em que qualquer usuário no mundo pode participar por completo, seja para ler, transacionar ou minerar. Estas são consideradas “totalmente descentralizada”.
- ***Blockchain* privado:** é um *blockchain* em que as permissões de participação são mantidas centralizadas em uma organização. Já as permissões de leitura das informações podem ser públicas ou restritas. Vitalik Buterin (2015) exemplifica

que as principais aplicações deste tipo de rede são o gerenciamento de um banco de dados e auditorias internas, que não são desejados o conhecimento público da informação.

- **Blockchain de consócio:** também chamado de *blockchain* híbrido, o processo de consenso da rede é determinado por um conjunto pré-selecionado de nodos. Buterin (2015) define como exemplo um conjunto de 15 instituições financeiras, cada uma operando um nó e, para um bloco ser validado, 10 delas devem assiná-lo. Assim como no *blockchain* privado, o acesso à informação pode ser público ou restrito. Este tipo de *blockchain* é considerado “parcialmente descentralizado”.

2.1.13 Web 1, Web 2 e Web 3

A internet possui alguns marcos conceituais de sua evolução, que são as chamadas web 1.0, web 2.0 e web 3.0. Branco (2023) e Sales (2022) explicam:

- **Web1:** é a internet comercial da década de 1990, seus primeiros anos, a qual os conteúdos eram estáticos, institucional e unidirecional. Ou seja, as páginas da internet eram iguais para todos, e a informação fluía de muitos para poucos, sendo “apenas leitura”. Muitos a comparam a uma grande biblioteca;
- **Web2:** próximo ao ano de 2004, a internet passou a ter novas funcionalidades, que passaram a permitir a criação de conteúdo por parte do usuário. Isto é, o consumidor comum passou a aglutinar os papéis de produtor e consumidor de conteúdo. Nessa época surgiram redes sociais como o *Orkut*, *Twitter* e *Instagram*, e as plataformas começaram a usar algoritmos para recomendar conteúdos com base no uso específico de cada usuário, tornando, a internet, mais centralizada e com menos privacidade. Isso pois, nela, as empresas possuem controle sobre os dados dos usuários;
- **Web3:** sendo referida como “web semântica”, a web3 surgiu como um conceito no qual, ao invés de servidores que centralizam o poder, controlando e ditando o que pode ser feito, os usuários são seu próprio servidor, construindo uma rede descentralizada. Os serviços da Web3 costumam se integrar com *blockchain* para permitir essa descentralização, principalmente através de redes de contratos inteligentes como a *Ethereum* (Neto, 2023).

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A chamada Primeira Revolução Industrial tem como principal tecnologia a máquina a vapor e trouxe um forte aumento na produtividade da indústria, introduzindo a mecanização da produção. A Segunda Revolução Industrial, tem como características basilares a divisão do trabalho, produção em massa e o uso da eletricidade nas linhas de montagem, ficando caracterizada pelo Fordismo, sistema criado por Henry Ford. Já a Terceira Revolução Industrial, tem como diferencial a automação dos processos através da utilização de computadores, de eletrônicos e da tecnologia da informação. Esta, tem como conceito fundamental a produção Enxuta. Atualmente, a Quarta Revolução Industrial tem por objetivo a digitalização da informação para gerar mais autonomia para a indústria (Teixeira *et al.*, 2019).

Sendo assim, considera-se que as três primeiras revoluções industriais tiveram como núcleo a competição tecnológica, enquanto a 4ª Revolução Industrial promove a fusão dos mundos físico, digital e tecnológico (Schwab; Davis, 2018 *apud* Teixeira *et al.*, 2019)

2.2.1 Princípios da Indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como *smart manufacturing*, possui 6 princípios básicos, sendo eles: (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016)

- **Interoperabilidade:** significa a capacidade de diversos sistemas (físicos e digitais) em comunicarem entre si através de redes abertas e comunicação semântica;
- **Virtualização:** quando sistemas conseguem monitorar processos físicos, coletando dados e unindo plantas virtuais e modelos de simulação;
- **Descentralização:** Com a incorporação de computadores para tomarem decisões por conta própria, a descentralização significa, por exemplo, que as etiquetas de rádio frequência dos produtos mostram para o próprio maquinário em quais etapas do trabalho elas devem atuar. Com isso, dispensa-se o planejamento e o controle central;
- **Capacidade em tempo real:** como os dados são coletados e analisados em tempo real, a planta pode reagir a falhas de máquinas e reorganizar a produção para outras máquinas;
- **Orientação de serviços:** os serviços de empresas, sistemas e humanos estão na internet e podem ser utilizados por outros participantes, seja interno ou seja externo. Como todos os sistemas oferecem suas funcionalidades como um serviço

digital, a operação específica de cada produto pode ser montada com base nos requisitos específicos de cada cliente;

- **Modularidade:** os sistemas modulares podem ser ajustados em caso de sazonalidade ou alterações nas características do produto.

2.2.2 Pilares da Indústria 4.0

Conforme a pesquisa de Falcão (2019), diversos autores divergem em relação a quais são os pilares da Indústria 4.0. No entanto, neste estudo, iremos considerar a definição do *the Boston Consulting Group* (Rüßmann *et al.*, 2015), com os seguintes pilares: *big data & analytics*, robôs autônomos, simulação, realidade aumentada, integração de sistemas, manufatura aditiva, cibersegurança, computação em nuvem e internet das coisas (veja a Figura 6).

Figura 6: Pilares da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Rüßmann *et al.* (2015)

2.2.2.1 Big Data e Analytics

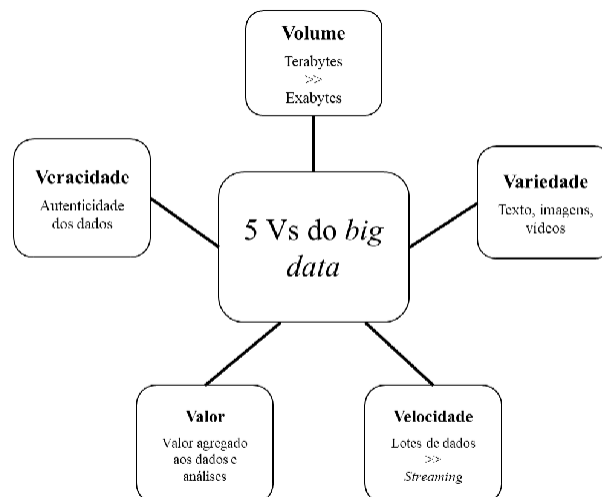
Chen *et al.* (2014, *apud* Silveira *et al.*, 2015) descreve o *Big Data* como a geração de grandes volumes de dados, de diferentes formatos e origens e que, normalmente, são contínuos. O mesmo artigo adiciona posteriormente que são dados com velocidade, ou seja, são dados em tempo real (Manyika *et al.*, 2011; McAfee & Brynjolfsson, 2012, *apud* Silveira *et al.*, 2015). Ainda, segundo esse mesmo trabalho, um dos principais desafios do *Big Data* são a variedade de fontes de dados, que constantemente são captados de forma não estruturada, podendo ser

imagens, sons, registros de caminhos na internet, geolocalização e outros formatos (Davenport, 2014, *apud* Silveira *et al*, 2015).

O artigo agrega a colocação de Demchenko *et al*. (2013, *apud* Silveira *et al*, 2015) que acrescenta mais dois desafios para a tecnologia: o valor e a veracidade. O valor é a utilização de dados que realmente agregam na tomada de decisão, que tenham valor agregado. Já a veracidade está relacionada a autenticidade e a confiabilidade da origem dos dados, ou seja, é necessário que os dados utilizados para análises sejam, de fato, verdadeiros.

Ao encontro disso, Coda (2021) expõe o conceito de Yin e Kaynak (2015) que define as 5 dimensões que caracterizam o *big data*, chamada de 5Vs do *big data*, as dimensões são: volume, veracidade, variedade, valor e velocidade. Conforme mostra a figura 7.

Figura 7: 5Vs do *big data*



Fonte: Coda (2021)

Nesse sentido, Coda (2021) argumenta que os dados necessitam de métodos, como *machine learning* ou algoritmos de *data mining*, para extrair conhecimento. Com isso, a aplicação do *big data* deve ser feita a partir de algoritmos que aplicam essas 5 dimensões (5Vs) no *big data*, para geração de sabedoria.

Coda (2021) ainda descreve o que são os Sistemas de Aquisição de Dados (DAQ), que transformam sinais físicos dos processos em dados, em 3 passos: (i) dispositivos de detecção, como sensores, termômetros, chaves fim-de-curso entre outros, (ii) dispositivos de transmissão de dados e (iii) dispositivos de armazenamento de dados.

No mesmo viés, Lima e Presser (2022) se baseiam em Fontes (2006) e elaboram um quadro, disponível na figura 8, com 5 princípios norteadores de dados e informações que devem

ser seguidos no uso do *Big Data*: disponibilidade, integridade, confidencialidade, legalidade, auditabilidade e não repúdio de autoria.

- **Disponibilidade:** Dados e informações devem estar disponíveis aos usuários que os utilizem nos processos internos, visando atender os objetivos estabelecidos;
- **Integridade:** Os dados e informações precisam ser corretos;
- **Confidencialidade:** O acesso e a utilização da informação devem ser restritos aos que necessitem usá-los;
- **Legalidade:** Para utilizar dados e informações, é necessário que as organizações respeitem as normas legais estabelecidas e os preceitos éticos;
- **Auditabilidade:** É importante que sejam registradas e identificadas todas as pessoas que têm acesso e utilizam os dados e informações;
- **Não repúdio de autoria:** Uma vez gerado ou alterado o dado ou a informação, o responsável não deve negar os fatos.

Não obstante, a utilização do *Big Data* também perpassa por outros desafios, como garantia à manutenção da privacidade e da confidencialidade dos dados e o uso exclusivo para o fim que lhe foi concedido, já que os dados podem ser reprocessados para outros fins. Além desses, outras importantes dificuldades são a volatilidade, a instabilidade e a veracidade de algumas fontes (Vieira; Silva, 2023).

Exemplificando, um famoso caso de uso do *Big Data* é o da empresa Netflix, que tem vantagens competitivas tanto na exibição quanto na produção das obras audiovisuais. Por meio da coleta e análises de dados do usuário como localização, histórico de conteúdos assistidos, horário em que assistiu, interação com a plataforma, entre outros, a Netflix conseguiu fazer um eficiente sistema de recomendação, baseado em uma combinação de diferentes algoritmos. Assim, a análise de dados permitiu a construção da lógica de produção, licenciamento e distribuição, que gerou grande vantagem competitiva para a plataforma, que tem como foco a personalização do catálogo ao usuário em todas as etapas produtivas (Suhr; Gross, 2022).

2.2.2.2 Robôs Autônomos

Bekey (2005 *apud* Albertin *et al.*, 2017), define robôs como máquinas capazes de pensar, agir e “sentir” e indica autonomia como sistemas que operam no mundo real sem nenhum controle externo por longos períodos. De outra maneira, robô autônomo é definido pelo autor como máquinas inteligentes que são suficientes em executarem tarefas sem nenhum controle humano explícito.

Os benefícios do uso de robôs na indústria são vários, como o aumento da produtividade e da confiabilidade do processo, melhoria e consistência na qualidade final do produto, minimizando operações adicionais, menor necessidade de mão de obra especializada, a possibilidade de operação em ambientes perigosos ou de tarefas desagradáveis e repetitivas para o ser humano e ainda permite a execução da tarefa sem pausa por longos períodos (Bastos, 1999).

Ainda, Bastos (1999) complementa que para, de fato, aplicar os robôs na indústria, “é necessário uma solução confiável e robusta que desempenhe de forma consistente as funções predeterminadas”. Isso pois, segundo ele, o problema designado para o robô resolver deveria ser resolvido com uma taxa de sucesso próxima a 100%, para que se tenha confiança no sistema robotizado. Por isso que, na prática, os robôs são usados apenas em determinados processos na indústria, já que “100% de solução para 90% dos problemas é muito melhor que 90% de solução para 100% dos problemas”.

Cota *et al.* (2017) argumenta que um dos grandes desafios da robótica é a integração de informações vindas de diferentes algoritmos e sensores, de forma que a geração de comandos e o controle dos dispositivos sejam executados corretamente, sem colocar em risco não só o robô como também aqueles que o cercam. Ele defende que uma possível solução para esse entrave da integração seria a implementação do controle a partir de um sistema único.

De qualquer forma, os robôs autônomos estão revolucionando a produção global. Eles são uma importante ferramenta para superar o *gap* entre linhas de produção manuais e automatizadas. Devido a isso, a indústria automotiva, com um grande histórico do uso de robôs tradicionais, está usando robôs de outras maneiras. Como é o caso da BMW, que estava automatizando, em 2016, uma linha de montagem que era predominantemente de trabalho manual com o uso desses robôs (*World Robotic Survey*, 2016; IFR, 2016, *apud* Albertin *et al.*, 2017).

2.2.2.3 Simulação

A simulação é uma técnica de Pesquisa Operacional que inclui a criação de um programa computacional capaz de representar uma parte do mundo real. Modelo esse que permita a realização de experimentos como uma antevisão dos resultados que ocorrerão na realidade, com o fito de auxiliar na tomada de decisões em diversos campos de conhecimento (Hollocks, 1992; *apud* Silva *et al.*, 2007).

Silva *et al.* (2007) argumenta que modelos matemáticos de simulação podem ser classificados em três subdivisões de modelos:

- **Estatísticos ou dinâmicos:** modelos estatísticos possibilitam a simulação do estado do sistema apenas para um dado momento, de forma que não possuem a variável tempo. Já os modelos dinâmicos envolvem a representação do estado do sistema em função da variável tempo;
- **Estocásticos ou determinísticos:** modelos estocásticos possuem ao menos uma variável ou parâmetro que seja uma variável aleatória. Já nos modelos determinísticos não há nenhuma variável aleatória;
- **Discretos ou contínuos:** o avanço do tempo pode ser de forma discreta ou contínua.

O estudo de Sargent (1999) mostra diversas técnicas existentes para serem utilizadas na validação dos modelos de forma subjetiva ou de forma objetiva, que é o uso de técnicas estatísticas ou procedimentos como testes de hipóteses ou intervalos de confiança. Entre as técnicas citadas estão: animação (gráfico), comparação com outros modelos, testes degenerativos, testes de condições extremas, validação com dados históricos, testes de Turing, entre outros. De tal forma que, frequentemente, se usa uma combinação dessas técnicas.

O mesmo autor (Sargent, 1999) recomenda, ao menos, os seguintes 8 passos para validar o modelo de simulação: (i) definir a abordagem e as técnicas de validação (ii) definir a precisão necessária das variáveis de saída, (iii) testar suposições e teorias do modelo, (iv) fazer uma validação facial em cada interação do modelo, (v) explorar o comportamento do modelo computacional, (vi) comparar o comportamento do modelo com o do sistema real, (vii) documentar o processo de validação e (viii) estabelecer um cronograma para revisões periódicas.

A vantagem de utilizar modelos de simulação é a interatividade, de tal forma que é possível se ter uma visão sistêmica dos efeitos que alterações locais terão no desempenho global do sistema. Isso gera diversos benefícios práticos, como redução do WIP (estoque em processo) e dos custos operacionais e maior otimização e compreensão do sistema além de maior velocidade e confiabilidade de entrega (Johansson, 2002; Law *et al.*, 1991, *apud* Silva *et al.*, 2007).

Andrade e Guimarães (2023) introduzem o conceito de *Digital Twin*, que é a representação virtual de um sistema físico e é usado para compreender e prever possíveis situações durante seu ciclo de vida. Segundo o autor, um *Digital Twin* consiste em um objeto

físico, um objeto virtual idêntico e uma conexão de dados e informações entre eles, permitindo que se interajam ao mesmo tempo. Essa conexão permite o monitoramento em tempo real, visualização e análise de dados e simulações de hipóteses, com o fito de evitar possíveis problemas futuros.

Esses autores também apontam algumas dificuldades no uso de um *Digital Twin* no setor de construção. Entre as limitações, está a coleta de dados, visto que há uma diferença nos dados entre as fontes. Outra restrição é a forma como as atualizações do sistema são executadas, visto que podem ser necessárias alterações, entre erros como ligações fora do eixo. Além desses, os autores expõem que outro importante entrave é a falta de integração de métodos de simulações com métodos de avaliação e previsão de riscos tradicionais.

Exemplificando, encontra-se o uso da tecnologia nas fábricas da *Volkswagen* no Brasil. A empresa automobilística utiliza programas computacionais para simular os processos produtivos antes da implementação, conceito esse chamado de fábrica digital. Os modelos virtuais são feitos a partir da metodologia PLM, que gerencia o ciclo de vida do produto em sua totalidade. Dessa maneira, as possíveis necessidades de alteração são simuladas e avaliadas por meio desses programas, independentemente da fase de fabricação do produto. A partir dessas simulações, identifica-se erros e problemas que podem surgir antes deles acontecerem, corrigindo-os antecipadamente. Essas ações resultam na redução do tempo de implementação e do custo, além de melhorar a eficiência, a ergonomia e a flexibilidade do sistema produtivo. Em números, a *Volkswagen* economizou mais de 23 milhões de reais na implementação de duas linhas produtivas mediante o uso de simulações (Mendes *et al.*, 2017).

2.2.2.4 Realidade Aumentada

A realidade aumentada (RA) é a tecnologia que combina elementos virtuais com o ambiente real em tempo real. Ou seja, ela permite que o usuário veja o real com alguns objetos virtuais sobrepostos, de forma que esses objetos sejam combinados em um ambiente 3D, não bastando ser 2D (Azuma, 1997). No entanto, a realidade aumentada difere-se da realidade virtual por preservar a conexão com o usuário e o ambiente real, visto que a realidade virtual é toda modelada por computador, enquanto a RA apenas adiciona elementos ou objetos virtuais ao real. Essa visão é realizada pelo monitor e a câmera ou usando um dispositivo acoplado à cabeça, como um óculos (Junior *et al.*, 2019).

A RA é classificada em dois grupos principais (Mirandova, 2015 *apud* Junior *et al.*, 2019):

- a) **Sistemas que utilizam visor transparente e sensores de posição:** o gerador de cena exibe objetos virtuais localizados no campo de visão do usuário com base nas informações obtidas pelos sensores de posição;
- b) **Captura de imagem da câmera real para o registro de marcadores que indicam a posição dos objetos virtuais:** uma câmera de vídeo captura a cena real e envia para um software, que identifica e calcula a posição a posição da câmera para atribuir o objeto virtual à imagem da cena, exibindo a imagem resultante com os objetos virtuais para o usuário.

Entre os desafios técnicos para a implementação da RA no cotidiano, estão desafios relacionados aos dispositivos móveis, como: tamanho da tela, qualidade da câmera de vídeo, falta de memória, baixa precisão na localização do usuário, pouca velocidade na transmissão dos dados e pouca capacidade de lidar com grandes volumes de informações. Além deles, outro entrave é o registro dos objetos virtuais, já que há uma baixa precisão de onde os objetos virtuais sobrepõem os objetos reais (Zorzal *et al.*, 2018).

Exemplificando casos de uso da tecnologia, tem-se a Embraer, que reduziu o tempo de montagem dos produtos em 25% após utilizar a Realidade Aumentada em computadores e tablets que podem ser consultados em casos de dúvidas dos operadores. Ainda, a RA é utilizada no ramo automobilístico para testar, de modo interativo, formas, cores e texturas para design de interiores ou em carrocerias reais (Silva *et al.*, 2022).

Com isso, a Realidade Aumentada permite que os operadores possam ter acesso a mais informações (que podem ser individualizadas) dentro de seus campos de visão, como o tempo de ciclo restante ou as próximas tarefas a serem executadas, auxiliando no processo *just-in-time* de produção (Kolberg; Zühlke, 2015).

2.2.2.5 Integração de Sistemas

Atualmente, muitos sistemas de tecnologia da informação (TI) existentes não são totalmente integrados. No entanto, com a evolução das tecnologias da Indústria 4.0, essas informações se tornarão cada vez mais coesas, possibilitando cadeias de valor automatizadas (Rüßmann *et al.*, 2015; *apud* Albertin *et al.*, 2017).

Takayama; Panhan (2022) explicam que existem dois tipos de integração: a integração horizontal e a integração vertical:

- **Integração horizontal:** é a integração de vários sistemas de TI em diferentes processos da agregação de valor, como fabricação, logística, engenharia, vendas e

serviços. Seja dentro da mesma empresa produtora ou também com parceiros externos, aumentando a precisão e a velocidade da tomada de decisões entre empresas, o que resulta num melhor serviço para o cliente;

- **Integração vertical:** é a integração de vários sistemas de TI em diferentes níveis hierárquicos do sistema de produção, como atuadores e sensores do chão de fábrica, controle, produção real, operações e planejamento de recursos. As principais soluções existentes de integração vertical são PLCs (Controlador Lógico Programável - controlam processos de fabricação e estão no nível de controle), SCADA (monitoram, controlam e supervisionam tarefas e estão no nível de produção), MES (gerencia o nível operacional da planta) e os ERPs (para o nível de planejamento empresarial).

Já Gaspar (2015) argumenta que há alguns desafios à integração de sistema, dividindo-os em 3 grupos:

- **Tecnológicos:** o autor apresenta os desafios tecnológicos como sendo o principal grupo, possuindo entraves como elevados investimentos de *hardware*, já que, para minimizar problemas é necessário adquirir equipamentos mais caros. Outras grandes dificuldades tecnológicas para a integração de sistemas de informação estão relacionadas com a qualidade e a integridade dos dados, já que frequentemente especialistas não conseguem garantir todos os mecanismos de segurança necessários. Além desses, o autor também cita a coexistência de sistemas obsoletos com aplicações novas nas indústrias, que levantam desafios de interoperabilidade;
- **Culturais:** para o sucesso do processo de integração de sistemas, é necessário que os colaboradores da empresa se envolvam no projeto. No entanto, nem sempre as mudanças são bem aceitas pelos funcionários, dificultando o processo de integração;
- **Processos:** a integração de sistemas de informação também perpassa por dificuldades como a garantia que não haverá perda de funcionalidades, processos especializados de acordo com os postos de trabalho, decisões diferentes em cada nível da cadeia, sem uma padronização lógica.

Exemplificando a integração vertical, Stock & Seliger (2016; *apud* Albertin *et al.*, 2017) comenta sobre a possibilidade da integração de logística numa fábrica com a utilização de veículos capazes de reagir a eventos imprevistos de forma ágil e autônoma, como mudança

de tráfego ou clima. Esses veículos seriam utilizados para o transporte interno ao longo do fluxo de materiais, sendo que eles fariam a troca de dados inteligentes com o maquinário produtivo, com o fito de ter uma coordenação descentralizada de suprimentos e produtos.

2.2.2.6 Manufatura Aditiva

Silva *et al.* (2020) expõe que o termo Manufatura Aditiva (MA) era considerada, na década de 1970, uma metodologia de prototipagem rápida (algo que, em um único processo, possui a capacidade de gerar objetos sólidos), sendo a impressão 3D um dos possíveis processos.

No entanto, segundo Gibson *et al.* (2010, *apud* Alberti *et al.* 2014), essas tecnologias extrapolaram a prototipagem, visto que são capazes de produzir componentes funcionais dado um arquivo digital (formato CAD 3D). Sendo assim, a Manufatura Aditiva é definida por Silva *et al.* (2020) como um grupo de tecnologias que criam objetos com formato livre, da base ao topo, utilizando uma abordagem camada por camada. Nesse contexto, a MA primeiro converte um modelo CAD 3D em camadas para depois determinar a trajetória e produzir o produto.

Atualmente, a norma ASTM (2012) define manufatura aditiva como o “processo de construção de objetos tridimensionais sólidos a partir da deposição de camadas, sendo oposta à manufatura subtrativa” (Rodrigues *et al.*, 2016). Por conseguinte, a importância da manufatura aditiva na Indústria 4.0 é a possibilidade de produção personalizada, com uma gama de possibilidades de formas e escala de peças, já que não precisa de moldes, produzindo o produto de forma individualizada. Devido a essa versatilidade, a MA permite economizar tempo, custos e materiais, melhorando a eficiência, eficácia e flexibilidade do processo, reduzindo a sua complexidade e ainda permitindo a prototipagem rápida dos materiais (Inácio *et al.*, 2020).

Gibson *et al.* (2009; *apud* Rodrigues *et al.*, 2016) estabelece oito etapas necessárias para a manufatura aditiva, sendo elas:

- **CAD (Computer-aided design):** as peças produzidas por MA devem ter a sua geometria definida por um *software*. Para isso emprega-se qualquer *software* profissional de CAD ou de engenharia reversa, como *scanner*;
- **Conversão para STL:** STL (*surface tessellation language*) é o formato padrão da indústria no momento, aceito pela maioria dos equipamentos;

- **Transferência para máquina de MA e manipulação do arquivo:** o arquivo que representa a peça deve ser transferido para o equipamento em que será produzida. Pode ser necessária algumas manipulações no arquivo para corrigir posicionamento, tamanho ou orientação da peça;
- **Configurar a máquina:** nessa fase define-se alguns parâmetros na máquina, como a espessura das camadas;
- **Produção:** essa fase tem baixa necessidade de supervisão humana, que pode ocorrer para garantir o suprimento de materiais, a descarga da máquina e para atuar em eventuais problemas;
- **Remoção:** a peça é retirada da máquina após a produção;
- **Pós-processamento:** algumas atividades, como limpeza e retirada de estruturas de suporte podem ser necessárias após a remoção. Ainda, processos extras como pintura e tratamento de superfícies podem ser requeridos;
- **Aplicação:** a peça está pronta para o uso.

Inicialmente, a MA chegou na indústria como uma ferramenta para a prototipagem rápida. A prototipagem é uma importante fase do desenvolvimento de um novo produto e permite a visualização das partes dos produtos nos ambientes de operação e montagem, o que auxilia no setup dos ambientes para a produção de um produto. Também é possível verificar acabamentos, aperfeiçoar dimensões, testar e validar funcionalidades, entre outras utilidades (Tamanini; Wiltgen, 2022).

Não obstante, a pesquisa de Albuquerque *et al.* (2024) evidencia alguns entraves para a adoção da MA ganhar escala. Entre eles, estão: (i) capacitação profissional para explorar o potencial da tecnologia, (ii) alto investimento inicial para a compra de impressoras 3D e materiais de qualidade, (iii) maior complexidade logística relacionada ao planejamento de produção e entrega de materiais customizados através da impressão 3D, (iv) a utilização de materiais não sustentáveis e (v) dificuldades em integrar a manufatura aditiva aos sistemas de produção existentes.

Como um caso de uso da manufatura aditiva na prototipagem, está a empresa automotiva *Bentley Motors* que usa a MA para produzir protótipos em miniatura que são usados para verificar os acabamentos (interno e externo). A citada empresa produz todo o carro em miniatura, desde as rodas até os painéis personalizados, para todos os testes estéticos e funcionais (Tamanini; Wiltgen, 2022).

Ainda no setor automotivo, a *Porche* usa a manufatura aditiva para fabricar pistões do motor do automóvel 911 GT2-RS. Os pistões fabricados por MA são 10% mais leves que os forjados, e neles é possível a existência de um duto especial de resfriamento, que não seria possível ser construído no processo convencional. Esse duto faz com que o automóvel possa ter uma maior potência. Ainda, outras empresas também usam a MA para confecção de objetos personalizados de segurança e de gabaritos, que são peças padrão para verificação (Tamanini; Wiltgen, 2022).

2.2.2.7 Segurança Cibernética (cibersegurança)

A Segurança Cibernética, também chamada de Cibersegurança, é definida pelo Governo Federal como “a arte de assegurar a existência da sociedade da informação de uma nação, garantindo e protegendo, no espaço cibernético, seus ativos de informação e suas infraestruturas críticas” (Brasil, 2015).

De acordo com (Czeczot *et al.*, 2023), os problemas da Segurança Cibernética ocorrem, majoritariamente devido à (i) falta de padronização, com a ausência de normas consistentes entre os setores, o que gera uma proteção desigual, (ii) aos erros humanos, sendo desde configurações incorretas até a falta de atualizações nos sistemas e (iii) à complexidade dos sistemas, visto que cada camada adicional de software ou hardware aumenta o risco de brechas de segurança.

Ainda, segundo Azambuja *et al.* (2021), os ataques cibernéticos geram prejuízos financeiros e impactos na imagem de uma empresa, por isso, as estratégias de cibersegurança devem estar condizentes com as estratégias organizacionais e das tecnologias utilizadas. Isto para garantir a segurança das informações e dos dados.

Frequentemente, os ataques cibernéticos envolvem também sistemas ciberfísicos, que são processos físicos integrados com sensores e atuadores em rede. Isso ocorre para o monitoramento em tempo real dos processos, com a presença de informações que embasam uma possível intervenção humana (Azambuja *et al.*, 2021).

Outrossim, a segurança desse tipo de sistema é subdividida em segurança das informações, que focam na proteção dos dados, e em segurança do controle, que protege o processo dos sistemas de controle. Devido à complexidade atual, o foco da segurança, que antes era no computador, passou para a rede computacional (Azambuja *et al.*, 2021).

Exemplificando um caso de ataque ciberfísico, houve uma invasão maliciosa a uma siderurgia Alemã, que foi divulgada pelo Escritório Federal de Segurança da Informação

Alemão em 2014, que resultou em danos físicos à equipamentos do processo. O invasor conseguiu acesso à rede corporativa da siderurgia provavelmente através do envio de um e-mail com um arquivo que, quando aberto, conectaria os criminosos às instalações, forma de ataque conhecida como *spear phishing*. A partir desse primeiro acesso, o atacante navegou até as redes dos sistemas de controle industrial e causou inúmeras panes em componentes individuais desse sistema, impactando o processo como um todo e impedindo que o forno industrial fechasse de forma adequada (Lima, 2016).

2.2.2.8 Computação em nuvem

A *cloud computing* (Computação em Nuvem) é uma estrutura composta de servidores, redes de armazenamento, computadores, softwares e aplicativos, com o fito de arquivar documentos e informações por uma conexão de internet, que podem ser acessados de qualquer lugar, de forma descentralizada (YEN *et al.*, 2014 *apud* Souza, 2017).

Segundo Sousa *et al.* (2010), a computação em nuvem surge a partir da necessidade de terceirização da infraestrutura de TI, na qual os usuários comprem hardwares e necessitam fazer a instalação, a configuração e a atualização dos sistemas de softwares. Por conseguinte, com a terceirização desse serviço, os usuários não necessitam mais de terem o conhecimento sobre essa tecnologia para acessarem os serviços.

Buyya *et al.* (2009, *apud* Souza *et al.*, 2010) acrescenta que a nuvem é uma metáfora para a infraestrutura de comunicação entre os equipamentos arquiteturais que oculta a complexidade dela. Sendo que, essa infraestrutura complexa é fornecida como um serviço, que utiliza um hardware compartilhado para o armazenamento e a computação.

O modelo de computação em nuvem teve como objetivo três benefícios: (i) redução no custo de aquisição e composição da infraestrutura, (ii) flexibilidade de adição e substituição de recursos computacionais, podendo escalar para atender as necessidades das empresas e (iii) abstração e facilidade do usuário, que não precisa saber aspectos técnicos do serviço (Souza *et al.*, 2010).

Mesmo que apenas 8% das empresas mantenham localmente todo o ambiente de TI (Paula; Dian, 2021; *apud* IDG, 2020), há alguns desafios para as empresas na migração total para a nuvem. Paula e Dian (2021) citam os quatro principais desafios a serem superados:

- **Segurança e Privacidade:** armazenar dados e aplicativos em sistemas que não possam controlar gera preocupações devido à possibilidade de perda de dados e do vazamento de informações sigilosas. Nesse sentido, é importante que o provedor

dos serviços forneça transparência aos clientes e a possibilidade de incluir permissões de acordo com cada cargo;

- **Disponibilidades:** os ambientes de *cloud* necessitam oferecer alta disponibilidade, já que é esperado que os acessos estejam sempre em funcionamento, visto que um dos objetivos da nuvem é oferecer acesso aos usuários a qualquer hora e ou lugar;
- **Interoperabilidade:** uma das soluções da disponibilidade é hospedar os serviços em mais de uma nuvem. No entanto, a falta de interoperabilidade entre elas é um entrave pela falta de padrão entre os fornecedores;
- **Confiabilidade:** falhas podem causar perda de lucros, produtividade e confiança. Atualmente, um servidor é considerado confiável se suas aplicações raramente falham, e, quando falham, não percam os dados;

Como exemplo das aplicações atuais da computação em nuvem estão aplicações generalizadas como webmail e sites e o processamento de imagens. Este é um serviço amplamente utilizado nos dias atuais e, casos reais de uso são: (i) o jornal NY Times utilizou o serviço de computação em nuvem da Amazon para converter 15 milhões de artigos para PDF em questão de horas, (ii) a Nasdaq, bolsa de valores americana, utiliza uma aplicação em nuvem da Amazon para disponibilizar o histórico de ações sem onerar a própria infraestrutura de TI e (iii) financeiras e seguradoras usam a nuvem para avaliar o risco e calcular o custo dos empréstimos (Souza *et al.*, 2010).

2.2.2.9 Internet das Coisas (IOT)

O termo *Internet of Things* (IOT) foi utilizado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton para descrever uma tecnologia associada ao uso da RFID (identificação por radiofrequência). Esta tecnologia conecta objetos de diferentes formatos a uma rede, provendo uma conexão entre objetos, usuários e dispositivos (Santos *et al.*, 2016).

Em outra definição simplificada, a Internet das Coisas conecta objetos físicos à internet, por meio de softwares e sensores inteligentes, viabilizando o acesso aos dados e o controle dos objetos à distância em tempo real (KOPETZ, 2011). No entanto, Klein *et al.* (2017) defende que IOT não é feita por apenas uma tecnologia, mas a combinação de várias tecnologias complementares que permitem um contato entre o mundo físico e o mundo virtual, elas possuem capacidades como:

- **Comunicação e cooperação:** os objetos passam a se conectar em rede entre si, utilizar dados e serviços e ainda atualizar seus estados. Para isso, utilizam tecnologias como 4G, Wi-Fi, *Bluetooth*, entre outras;
- **Endereçamento:** os objetos podem ser configurados, endereçados ou interrogados remotamente;
- **Identificação:** os objetos são únicos na rede. Por meio de tecnologias como RFID e NFC (comunicação por campos próximos), é permitido que os objetos sejam vinculados com informações específicas associadas a eles;
- **Sensoriamento sensível ao contexto:** os objetos, utilizando sensores, registram, coletam e encaminham dados sobre o ambiente à sua volta, reagindo de acordo com o contexto;
- **Monitoramento:** os objetos são monitorados sempre: as condições da operação, do produto e até o seu uso. Isso também permite notificações e alertas de mudanças;
- **Atuação:** os objetos do mundo real podem ser controlados remotamente através de atuadores, convertendo sinais elétricos em movimentos mecânicos, por exemplo;
- **Processamento de informações incorporado:** os objetos possuem processadores e capacidade de armazenamento, podendo interpretar informações, além de dar ao objeto uma “memória” de como são utilizados;
- **Localização:** os objetos sabem onde estão, podendo ser localizados através do uso de tecnologias como GPS (sistema de posicionamento global), internet, tecnologias ópticas, entre outras;
- **Interface ao usuário:** os objetos podem se comunicarem com as pessoas, através de telas, reconhecimento de gestos ou de imagens.

Todas essas capacidades que surgem pela integração das tecnologias de IOT geram diversas possibilidades para criar produtos e serviços com valor agregado conectando esses dois mundos (Klein *et al.*, 2017).

Outrossim a utilização do IOT atravessa alguns entraves. Entre eles Santos *et al.* (2021) cita o custo de instalação de estruturas físicas, como a construção de antenas de propagação de sinais, que seria amenizado com a implementação da internet 5G no Brasil. O autor também define a segurança das informações, mantendo um sistema livres de ataques e com acesso restrito à apenas quem realmente deve acessá-las, como outro desafio.

Exemplificando, um famoso caso de uso da integração do IOT com o *Big Data* na logística é o da empresa UPS, a maior empresa logística mundial. Através do projeto ORION, a UPS instalou sensores em todos seus veículos para identificar velocidade, desempenho e rotas, para então encontrar as melhores soluções logísticas com o uso do *big data*. A empresa, ainda, desenvolveu um aplicativo para conectar o sistema aos clientes. O aplicativo permite que o cliente acompanhe a entrega do pedido em tempo real e possa modificar o horário de entrega. Como resultado, a empresa economizou 11 milhões de litros de combustível em 2011, além de melhorar a satisfação do cliente (Mazzega, 2016).

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado todo o protocolo de pesquisa, desde a seleção e validação dos entrevistados até a transcrição e análise das entrevistas. Os resultados da análise foram organizados nas seguintes temáticas: a relação percebida entre as tecnologias da Indústria 4.0 e o *blockchain*, em uma perspectiva aplicada, bem como as oportunidades e os desafios para a sua plena adoção no cenário brasileiro, eventualmente setorizados.

3.1 PROTOCOLO DE PESQUISA

A primeira etapa da fase de desenvolvimento se deu com a seleção, contato e validação dos convidados por meio da rede social LinkedIn e de comunidades temáticas no WhatsApp, seguindo os critérios de envolvimento profissional com a tecnologia *blockchain* e conhecimento em pelo menos dois pilares da Indústria 4.0. Após o aceite, lhes foi enviada uma pequena explicação sobre o objetivo e a metodologia da pesquisa, junto ao agendamento de dia e horário para a entrevista ocorrer de forma online através da plataforma *Google Meet* (com a autorização de gravação).

Todas as entrevistas foram gravadas, não só pelo aplicativo Microsoft Clipchamp, como também pela ferramenta “tl;dv”, uma extensão da plataforma em que ocorreram as entrevistas, onde também foram realizadas suas transcrições.

A partir das transcrições, o autor separou as falas de cada entrevistado em cada pilar da indústria 4.0 mais as vantagens e oportunidades no Brasil, bem como as desvantagens e

entraves no país, ou seja, nos mesmos tópicos dos subcapítulos 3.3.1 ao 3.3.9, além do 3.4.1 e do 3.4.2.

3.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Ao todo, foram entrevistados oito profissionais, que tiveram as identidades preservadas. As informações acerca de suas funções, tempo de experiência com a tecnologia e área de aplicação são, no entanto, discriminados no Quadro 1.

Quadro 1: Informações básicas dos entrevistados

Nº	Cargo	Tempo	Área
1	Embaixador brasileiro de uma <i>blockchain</i> ; Head de Comunidade de educação <i>Web3</i> ;	1 ano	<i>Web3</i>
2	Host do maior podcast brasileiro de <i>blockchain</i> ; Mentor de negócios baseado em <i>blockchain</i> ; Head de produto de uma empresa europeia de <i>blockchain</i> ;	10 anos	Educação <i>Blockchain</i> para negócios
3	Advogado especialista em tokenização e DeFi; Publicou 3 livros sobre tokenização e criptoativos; CEO de uma empresa focada em NFTs;	10 anos	Educação Direito
4	Sócio de uma empresa de educação em programação e <i>Web3</i> ; Programador, Consultor e Mentor; Palestrante, autor de livros e professor de cursos;	4 anos	Programação Educação
5	Idealizador de uma comunidade prática de <i>blockchain</i> Brasil; Gerente de desenvolvimento de negócios na Cointelegraph; Autor de um livro sobre <i>blockchain</i> ;	10 anos	Pesquisador Organizações Descentralizadas
6	Coordenador do DREX no Banco Central do Brasil; Palestrante, pesquisador e escritor de artigos;	9 anos	Tokenização CBDC
7	Gerente de comunidade cripto; Gerente de Experiência do Usuário em uma Startup <i>Web3</i> ; Palestrante;	10 anos	Experiência do usuário <i>Web3</i>
8	CEO e Co-Fundador da <i>Tanssi Network</i> ;	4 anos	<i>Web3</i>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

É necessário ressaltar que, embora os respondentes estejam alocados em instituições específicas, o presente trabalho aborda suas opiniões pessoais e profissionais, que não necessariamente representam suas instituições de origem. Portanto, as opiniões aqui indicadas não devem ser ligadas a nenhuma empresa ou instituição.

3.3 ASSOCIAÇÕES PERCEBIDAS ENTRE O BLOCKCHAIN E OS PILARES

Este subcapítulo apresenta e articula as falas referentes às relações percebidas pelos entrevistados entre o *blockchain* e os 9 pilares da Indústria 4.0 descritos e detalhados na seção 2.2.2, durante o capítulo da revisão bibliográfica.

3.3.1 Big Data & Analytics

A convergência entre as tecnologias de *Big Data* e o *blockchain* é extremamente ampla e conta com alguns desafios, podendo ser discutida em diversos setores, abordagens e casos de uso. No capítulo 2 deste trabalho, as citações já presentes na literatura, entre elas a de Coda (2021), afirmam que dois dos principais desafios do *Big Data* são a variedade de fontes de dados, que acarreta uma coleta de forma não estruturada, e a veracidade deles, que está relacionada à autenticidade e à confiabilidade da origem.

Visão essa que é contemplada por alguns dos participantes desta pesquisa, como o entrevistado 2, que conclui que um dos consensos entre os profissionais de engenharia de dados é que a qualidade dos dados é sempre um problema. Nesse sentido, além de melhorar a proveniência das informações, o *blockchain* também tende a facilitar a obtenção do dado de maneira mais intrínseca ao sistema, por “forçar” padrões e impor algumas outras limitações para que os dados sejam consistentes.

O especialista ainda adiciona que *big data* e *blockchain* atuam de maneira complementar, resolvendo problemas diferentes, enquanto as *blockchains* são iminentemente transacionais, as ferramentas de *big data* são voltadas para análise de padrões. Com isso, ao atuar como uma entrada para o processo de *big data*, a *blockchain* adiciona valor aos dados utilizados. Além disso, ele defende também que a *blockchain* pode ser usada para rastrear não só o uso dos dados, como também a remuneração aos donos dos dados pelo seu uso.

Da mesma forma que o respondente 2, o entrevistado 6 concorda que há um problema sobre a “fonte da verdade” para analisar dados. Problema esse que, segundo ele, é mais fácil de ser resolvida no mundo corporativo tradicional pelo fato de que os bancos de dados são quantitativos, então bastaria adicionar uma *blockchain* para garantir que os dados não foram manipulados.

No entanto, ele relata que esse problema se agrava quando é necessário utilizar *big data* para treinar modelos de Inteligência Artificial (IA). A forma tradicional de lidar com isso é contar com profissionais como estatísticos para fazer um filtro inicial e verificar se os dados foram manipulados ou não. Todavia, se considerar deixar na internet máquinas de treinamento

automático, as quais procuram os bancos de dados e se alimentam dele, elas absorveriam várias *fake news* (notícias falsas, em tradução livre), já que há diversas pessoas divulgando informações que não são verificáveis, e reproduziriam essas informações errôneas na tomada de decisão. Nesse sentido, ele vê uma vantagem em utilizar a tecnologia *blockchain* para o registro das informações, que passariam por um consenso entre os validadores da rede para serem classificadas, por exemplo, como uma opinião ou como um fato. Dessa forma, as máquinas de IA utilizariam a informação de maneira mais confiável e precisa.

Além de todos os benefícios do uso da *blockchain* em situações de análise de dados, o entrevistado 2 disserta sobre a utilização de ferramentas de *big data* em *blockchains* públicas, que são responsáveis por monitorar, analisar, correlacionar e modelar grandes volumes de transações. Exemplificando, ele apresenta o *Big Query*, uma ferramenta do Google que suporta consultas, em nuvem, de diversas *blockchains* diferentes. Ao mencionar um outro serviço de *big data* para *blockchains*, o entrevistado 5 cita o *CoinMarketCap*, um site que fornece preços históricos de diversos tokens e criptomoedas.

O especialista 5 argumenta também que o *blockchain* pode ser um grande aliado na disponibilização de informações para ferramentas de *big data* com o CBDC (*Central Bank Digital Currency*), que são propostas dos governos de adotarem criptomoedas emitidas e controladas por bancos centrais. Segundo ele, com os CBDCs seria possível criar a chamada economia 4.0, um novo tipo de economia em que estariam disponíveis uma quantidade abundante de dados históricos que tornariam viáveis análises macroeconômicas profundas. A partir disso, podendo utilizar também do apoio de inteligências artificiais, seria possível estipular de forma mais assertiva dados econômicos complexos como taxas de juros e índices de desemprego.

Além do benefício de estipular dados econômicos, o entrevistado defende que um bom governo, que não seja um governo opressor, conseguiria formular também políticas públicas mais eficazes de consumo. Isso pois, entre outros motivos, o governo teria acesso a informações concretas sobre qual parte da população está gastando com qual tipo de produto. Ele ilustra uma situação em que, analisando-se estritamente os aspectos tecnológicos, o governo poderia aumentar os impostos sobre a cerveja em uma localidade específica ao perceber que a população daquele lugar está consumindo muito mais álcool, e conseqüentemente gerando um aumento nos casos de alcoolismo. Não obstante, ele elucida que, nessa situação, há critérios de invasão de privacidade, embora atualmente muitos bancos e outros *players* já possuam esse tipo de informação.

O entrevistado 6 complementa que, para o Brasil principalmente, a utilização de *blockchain* na economia real pode evitar fraudes conhecidas como *greenwashing*, que ocorre quando ativos não sustentáveis são vendidos como se fossem sustentáveis. Dessa forma, utilizando o *blockchain* para registrar e validar esses dados, é inerente que “o valor daquela informação é tão bom quanto a fonte que gerou a informação”. Logo, a fonte da informação ainda seria crucial, mas a partir do registro, não haveria mais possibilidades de manipulação.

Abordando também essa relação de confiança, o respondente 8 afirma que, na situação de um gestor e tomador de decisão sobre um investimento, ele teria uma maior confiabilidade ao consumir um dado vindo de uma *blockchain* comparado a utilizar um dado vindo de um arquivo .csv.

No entanto, os custos da utilização de uma *blockchain* para armazenamento desses dados podem ser altos. De acordo com o especialista 4, o pior cenário possível seria armazenar informações em *blockchains* públicas, que teriam taxas de transação proporcionais ao volume de dados armazenado. Desse modo, mesmo que as tecnologias existentes hoje no mercado comportem grandes quantidades de dados, elas não possuem um viés primário de armazenamento cru de dados. Por conseguinte, o especialista esclarece que não há sentido em utilizar o *blockchain* com a finalidade de armazenamento de dados, visto que, além dos custos, as *blockchains* em geral não possuem uma linguagem de consulta focada em consultas complexas, como o SQL.

Ademais, o mesmo respondente afirma que poderia ser benéfico para um projeto utilizar *blockchain* como uma tecnologia auxiliar. Ele visualiza um cenário cartorial, no qual o *blockchain* é utilizado para registrar a inserção de dados em um *data lake*². Dessa forma, manter um registro paralelo na *blockchain* contendo algumas metainformações referente aos dados brutos, poderia auxiliar a verificação da qualidade desse *data lake*.

O entrevistado 8 tem uma opinião condizente com o especialista 4, afirmando que o preço de utilizar uma rede pública, como a *Ethereum*, para formar um *data lake* é, em geral, proibitivo. No entanto, ele apresenta o conceito de *appchains*, que são um tipo de *blockchain* projetado para uma função específica e consequentemente possui custos operacionais muito

² Um *data lake* é um repositório de dados centralizado no qual se armazena, em grande escala e no formato original, dados estruturados, semiestruturados ou não-estruturados. São armazenados todos os dados, sem perda, para posterior exploração. Para isso, eles permitem importar qualquer quantidade de dados em tempo real de múltiplas fontes e formatos (Tito *et al.*, 2020).

mais baratos do que uma *blockchain* pública. É algo como um “*blockchain as a service*”, que a empresa dele faz.

Sendo assim, ele considera uma *appchain* como uma excelente alternativa para o emprego de *blockchain* junto ao *big data analytics*. Exemplificando, ele comenta o caso de uma empresa que mapeou os poços de petróleo com dados públicos. Esse *data lake* poderia ser realmente *on-chain*³ e pouco dependente de oráculos, que seriam mais responsáveis por incluir dados financeiros ou fazer conversões de medidas. Principalmente para esse caso, por se tratar de um setor altamente regulado e com algumas licitações, a vantagem de os dados estarem *on-chain* é o fato deles serem invioláveis, sendo um ganho para a governança das empresas. Ele ainda conclui que, mesmo havendo um *trade-off* de custo, com uma infraestrutura eficiente e respeitando a LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados), colocar um *data lake* em uma *blockchain* possibilita a rastreabilidade dos dados, que acarreta um ganho enorme de governança corporativa.

Por fim, dissertando sobre um caso de uso diferente, o entrevistado 7 argumenta que, ao aplicar o *blockchain* no *big data* é possível ter algoritmos mais transparentes para o usuário. Exemplificando no caso de uma rede social, ele afirma que, caso fosse construída sob uma *blockchain*, os usuários poderiam identificar o motivo pelo qual estão recebendo um determinado anúncio. Isso faria com que os usuários tivessem mais consciência e controle sobre seus próprios dados.

Essas características do *blockchain* passam a ter uma maior relevância quando, no capítulo 2, Vieira e Silva (2023) citaram a confidencialidade e o uso regrado do dado como principais desafios do *big data*. Em síntese, os especialistas concordam que *blockchain* e o *big data* são tecnologias complementares, mesmo discordando um pouco da intensidade do *trade-off* dos custos. No entanto, alguns desafios, como a privacidade com o uso de CBDCs, ainda precisam ser mais bem discutidos e analisados para que ocorra uma melhora significativa na usabilidade e na aceitação dessas tecnologias.

³ Dados *on-chain* são aqueles que estão armazenados na própria *blockchain*. De maneira oposta, dados *off-chain* são armazenados fora da *blockchain*, em servidores externos (Ochoa *et al.*, 2019)

3.3.2 Robôs Autônomos

A integração entre a tecnologia de *blockchain* e os robôs autônomos acarreta uma melhora representativa da segurança e da confiabilidade desses dispositivos, além de facilitar a realização de transações financeiras por parte desses robôs.

No capítulo 2, a citação de Bastos (1999) afirma que ainda falta uma solução confiável e robusta para desempenhar as funções predeterminadas de forma consistente. Nesse sentido, o entrevistado 1 argumenta que, devido à função *hash* e as outras criptografias presentes na tecnologia, o *blockchain* atuaria de forma a melhorar a segurança e a identificação dos dispositivos autônomos, integração essa essencial para quando houver robôs nas ruas, como os carros autônomos.

Já o entrevistado 7 contribui dizendo que a utilização da tecnologia torna os comandos mais seguros e controlados, pois são imutáveis a partir do momento em que são registrados na *blockchain*. Essa característica torna inviável uma manipulação externa, algo que seria possível em um sistema mais frágil, necessitando apenas de um comando de programação, por exemplo.

Por além dessas características, o entrevistado 5 discorreu que é possível associar essas tecnologias com inteligência artificial e criar um “*office robô*”, que substituiria os tradicionais “*office boys*”. Esse robô utilizaria criptomoedas para fazer pagamentos e compras, dentre outras atividades, de forma autônoma, para empresas ou pessoas, agilizando processos e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Essa automação também foi contemplada pelo entrevistado 3, que exemplificou o projeto de um assistente virtual, de uma *startup* da qual é sócio. Essa *startup* vislumbra um futuro no qual todos os produtos sejam tokenizados, por isso está desenvolvendo um robô que combina realidade aumentada, inteligência artificial, *blockchain* e *smart contracts*. Segundo ele, essa combinação permite a compra de produtos tokenizados por meio de gestos. Dessa forma, um usuário seria identificado pelo robô assim que chegasse à porta de sua casa e todo o processo de compra aconteceria por meio da ativação de contratos inteligentes em uma carteira de criptomoedas.

Como os desafios da utilização de robôs autônomos apresentados no capítulo 2 são a segurança dos comandos e a integração de informações vindas de diferentes fontes, a convergência entre *blockchain* e robôs autônomos indica um futuro no qual as máquinas operam de maneira mais segura, autônoma e integrada. Dessa forma, essas mudanças abrem caminhos para novos modelos de negócio, como os aqui apresentados.

3.3.3 Simulação

A relação específica entre simulação e *blockchain* não foi tão abordada pelos entrevistados, o que pode ser considerado um indício de que são tecnologias com baixa sinergia entre si.

No entanto, o entrevistado 2 afirmou que o *blockchain* pode atuar a favor da simulação dado o seu relacionamento com o *big data*. Segundo o respondente, hoje, um dos principais desafios da simulação é que os dados não são necessariamente “dados quentes”. Ele sugere que seria interessante registrar as mudanças de estado de um determinado processo ou ativo na *blockchain* e automatizar a retroalimentação dos dados do simulador. Desse modo, a simulação teria capacidade de acompanhar em tempo real, ou quase real, o que de fato está acontecendo com o elemento analisado. Assim, seria possível gerar visões progressivamente mais precisas para caso seja necessária uma intervenção humana no processo.

O entrevistado 7, por mais que tenha demonstrado uma visão mais cética sobre essa relação, exemplificou que o *blockchain* poderia atuar em simulações de segurança, como no caso de uma fábrica que pretende implantar um *data center* e faz múltiplos testes de segurança. A tecnologia poderia atuar também no registro dessas simulações.

Ainda assim, é imperioso ressaltar que alguns dos casos de uso discutidos no subcapítulo 3.3.1, “*Big Data & Analytics*” e no capítulo 3.3.4, “Realidade Aumentada”, também poderiam estar aqui. Como os citados pelo entrevistado 5, que argumentou que, com a *blockchain* atuando em uma CBDC, os governos poderiam utilizar o *big data* para prever indicadores macroeconômicos futuros e pelo entrevistado 8, que exemplificou uma empresa petrolífera utilizando a Realidade Aumentada para fazer simulações de segurança. Por conseguinte, uma integração com o *blockchain* sugere simulações mais precisas, seguras e atualizadas, seja em situações industriais ou econômicas. Avanços esses que, de acordo com Andrade e Guimarães (2023), apresentado no capítulo 2, são necessários para um maior uso das simulações em ambientes operários.

3.3.4 Realidade Aumentada

A interseção entre realidade aumentada e *blockchain* é explorada em diversos contextos e setores. Demonstrando potencial para transformar desde o setor de entretenimento até indústrias pesadas.

O entrevistado 7 destaca que há uma sinergia muito forte entre o *blockchain* e a realidade aumentada. Relação na qual a realidade aumentada ajuda o desenvolvimento da indústria *Web3*, mais propriamente no setor de games, por trazer uma camada de interação nova e muito mais interativa do que os jogos tradicionais. Ao mesmo tempo, a tecnologia *blockchain* também acrescenta no desenvolvimento de jogos que não sejam necessariamente “jogos *blockchain*”, mas que sejam desenvolvidos para a tecnologia de realidade aumentada, acrescentando na segurança dos jogos, na jogabilidade e até na rastreabilidade dos itens do jogo. Segundo ele, há diversos exemplos de jogos que integram realidade aumentada e *blockchain* sendo desenvolvidos no Brasil, principalmente nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

O respondente 5 lembrou que existem alguns projetos que integram essas tecnologias também no setor de varejo, oferecendo uma experiência de compra imersiva para o consumidor, antes de adquirir os produtos. No entanto, ele enfatizou que não tem certeza quanto ao sucesso dessas iniciativas no mercado atualmente.

Em um contexto industrial, o entrevistado 8 exemplificou o caso de uso de uma petrolífera brasileira. No comissionamento de uma plataforma de exploração de petróleo, realiza-se um processo rigoroso de auditoria, que inclui a checagem desde as partes do submarino presente na plataforma até das marcações do extintor de incêndio, antes da ativação da plataforma. Esse processo é bastante demorado e custoso, visto que além da dificuldade de deslocamento até a plataforma, há adicionais de insalubridade e o riscos inerentes do trabalho em ambiente *offshore*. Da mesma forma, há também os processos de auditorias regulares e de descomissionamento da plataforma. Atualmente, segundo o entrevistado, essa empresa começou a fazer essas auditorias através de um *Digital Twin* da plataforma, que consiste em uma réplica virtual e 100% fidedigna da estrutura real.

No entanto, mesmo com a redução dos custos desse processo de auditoria, persistia a incerteza quanto à conformidade total com as normas estabelecidas. Por isso, essa empresa está estudando registrar todos esses passos de governança e de auditoria *on-chain*. Isso porque, dessa forma, os dados seriam imutáveis e invioláveis, evitando erros, negligência ou até mesmo fraudes, que podem fazer a empresa perder um ativo de dezenas de milhões de dólares. Ainda segundo o respondente 8, o mesmo princípio também pode ser aplicado para outras grandes empresas com foco em ESG, como mineradoras. De acordo com ele, nesse contexto, o maior ganho não seria de eficiência, mas sim de governança, posto que, além de ter uma maior confiabilidade do processo, haveria uma garantia de responsabilização das pessoas corretas caso algo aconteça.

Também pensando na indústria, mas considerando o setor de seguros, o entrevistado 2 relembra de um artigo que escreveu sobre um cenário em que há um operador de guindaste utilizando um óculos de realidade aumentada. Nessa situação hipotética, todos os dados são projetados em tempo real, e os ativos movimentados pelo operador estão registrados na *blockchain*. Dessa forma, o prêmio do seguro pode variar com o tempo, conforme o operador movimenta esses ativos.

Dessa forma, mesmo que os desafios citados no capítulo 2 para a RA, como os relacionados aos dispositivos móveis, não sejam solucionados com o uso do *blockchain*, é possível perceber as inúmeras aplicações da interseção entre *blockchain* e realidade aumentada. Aplicações essas que proporcionam desde experiências mais emocionantes e realistas em jogos e compras até soluções voltadas para a governança corporativa em setores altamente regulados e importantes para o Brasil.

3.3.5 Integração de Sistemas

A relação entre integração de sistemas e *blockchain* é ampla, podendo ser discutida em diferentes frentes e setores. O debate envolve diferentes visões dos entrevistados, que apresentaram desafios técnicos, desafios regulatórios, melhorias na gestão e na segurança, entre outros temas distintos.

Além desses desafios relacionados à junção das duas tecnologias, a tradicional integração entre sistemas, consoante discutido no capítulo 2, também apresenta alguns desafios tecnológicos. Sendo eles a falta de interoperabilidade, elevados investimentos em *hardware* e a qualidade e a integridade dos dados.

O entrevistado 2 argumenta que o *blockchain* torna-se uma ferramenta de integração entre organizações. No entanto, para que isso aconteça ele opina que a *blockchain* se beneficia mais da integração de sistemas do que sendo um mecanismo para essa integração. O raciocínio é: para que os sistemas centralizados das empresas se conectem com a *blockchain*, é necessário que elas utilizem algum protocolo, como uma API⁴.

Ele exemplifica com um dos primeiros casos de uso que ocorreram no Brasil, entre uma fábrica de carne suína e um supermercado que possui uma enorme rede de distribuição.

⁴ API é uma sigla em inglês (*Application Programming Interface*) e é traduzida como Interface de Programação de Aplicativos, que é um conjunto de protocolos, regras e ferramentas que viabilizam a interação e a comunicação padronizadas entre diferentes *softwares* (Faria Junior; Silveira, 2023).

Dessa forma, para poder rastrear toda a cadeia reversa, é necessário que o supermercado saiba o prazo, a quantidade e a estimativa de chegada em cada local. Essas informações passam por uma *blockchain* em que ambas as partes transacionam de forma P2P. Não obstante, os sistemas centralizados de cada empresa carecem de procedimentos como APIs para acessar a essa *blockchain*. Concluindo que é uma via de mão dupla.

Outrossim, o mesmo respondente adiciona que é muito fácil integrar com *blockchain* e que esse processo só não está mais avançado por questões regulatórias, e não por questões técnicas. Ele salienta que a grande maioria dos projetos mais ambiciosos de *blockchains* permissionadas não tiveram a adoção ideal, e que, atualmente, esses projetos são de nichos particulares, sem abranger uma cadeia de suprimentos entre indústrias em sua totalidade.

Defendendo que o *blockchain* pode resolver alguns desafios na integração de sistemas, o entrevistado 4 diz que, por melhorar a qualidade e a confiabilidade do *data lake*, a tecnologia em questão poderia, em uma experiência passada dele em bancos, reduzir a inadimplência de clientes e aumentar a assertividade dos juros bancários. Isso ocorre porque é necessário fazer inúmeras análises de dados de vários sistemas diferentes e em vários formatos diferentes, sem garantir a total confiabilidade deles. Indo, dessa forma, de encontro a um dos desafios apresentados por Gaspar (2015) no capítulo 2.

O entrevistado 3 acrescenta que a integração de dados na *blockchain* pode ser potencializada através do uso de oráculos, que são empresas especializadas em integrar dados *off-chain*, como dados de IOT e da bolsa de valores, com as informações que estão *on-chain*. Dessa forma, uma *blockchain* pública, como a *Ethereum*, se torna uma fonte de dados provenientes de diferentes lugares.

A *blockchain* também pode ser usada como um instrumento contra fraudes. O Entrevistado 5 menciona um caso concreto em que um ex-presidente do Brasil alterou informações pessoais do sistema público de vacinação, que já usava *blockchain*. Dessa maneira, como as informações presentes em uma *blockchain* são imutáveis, foi extremamente fácil identificar essa alteração.

Por esse mesmo motivo, ele adiciona que a integração de sistemas públicos e privados através de *blockchains* híbridas torna-se importante. O compartilhamento de informações entre sistemas produtivos, cadeia de suprimentos, governo e *stakeholders* acarretaria uma grande melhoria de questões como qualidade de produtos e segurança alimentar, além de reduzir falsificações. A importância disso, segundo o entrevistado 5, pode ser compreendida com uma ida à rua Uruguaiana, no centro do Rio de Janeiro, onde é possível encontrar diversos produtos

falsificados com o selo do Inmetro. Nesse caso, se as empresas reguladas se integrassem ao Inmetro, os consumidores teriam produtos com maior confiabilidade e qualidade.

Continuando mencionando casos de uso da integração de sistemas através de *blockchain* na administração pública, o respondente 5 expõe que, da mesma forma, também seria interessante a população ter acesso aos dados do governo, para poder, por exemplo, fiscalizar se o dinheiro arrecadado com impostos realmente foi para as causas devidas. Para finalizar, ele justifica que esse tipo de solução deveria ser com *blockchains* híbridas, já que apenas uma parte dos *stakeholders* poderiam inserir dados.

O entrevistado 6 sintetiza todas essas discussões ao definir o *blockchain* como “uma camada de validação de informações na integração entre sistemas”. Assim, a tecnologia se transforma em uma ferramenta transformadora para a integração de sistemas, mas a sua real eficácia dependerá não só da adoção desse tipo de protocolo, como, principalmente, de uma maior clareza regulatória.

3.3.6 Manufatura Aditiva

A convergência entre a Manufatura Aditiva e o *blockchain* foi pouco comentada durante as entrevistas, talvez pelo fato de os convidados terem tido pouca experiência com esse pilar da Indústria 4.0. Ainda assim, é possível inferir que se trata de uma relação promissora.

O entrevistado 2 mencionou que atualmente, os criadores das *blueprints* (“projeto”, em tradução livre) de modelos 3D são pouco valorizados. Isso porque, assim como outros modelos digitais, como os arquivos MP3, são arquivos facilmente compartilháveis por comandos simples como “copiar e colar”. Para mitigar esse problema, ele relatou a existência de um *marketplace* no qual o modelo *blueprint* está associado a um NFT, assim sendo, apenas uma *Wallet* com o NFT conseguiria acessar o modelo, e, caso desejasse vendê-lo posteriormente, bastaria transacionar esse NFT. Segundo o respondente, esse é mais um caso em que o ativo *on-chain* representa a posse-propriedade de um determinado ativo que pode ser transformado fisicamente.

Complementando esse horizonte, o Entrevistado 5 reforça o argumento de que a tecnologia *blockchain* poderia ser utilizada para registrar ativos de propriedade intelectual vinculados a esses modelos 3D, associando-os a NFTs. Esse processo garantiria, além de uma comercialização mais segura desses projetos digitais, uma remuneração mais justa aos criadores do modelo.

Por conseguinte, a combinação de ambas as tecnologias surge como uma solução para a gestão da propriedade intelectual e para a segurança em produções digitais, permitindo maior controle sobre a comercialização e a distribuição desses projetos.

Ainda assim, mesmo que os desafios apresentados no capítulo 2 não tenham sido citados no presente subcapítulo, alguns deles podem ser minimizados com o uso do *blockchain*, como a complexidade logística para o planejamento de produção e entrega dos materiais produzidos, bem como a dificuldade de integração da Manufatura Aditiva à cadeia produtiva. No entanto, dificuldades específicas como a falta de profissionais capacitados, alto investimento inicial e a utilização de materiais não sustentáveis (embora o *blockchain* possa auxiliar no rastreo e no controle desses materiais), são entraves a serem resolvidos de outras formas.

3.3.7 Cibersegurança

A relação entre cibersegurança e *blockchain* é, de certa forma, intrínseca, já que, conforme conta o entrevistado 4, o estudo que depois originou a tecnologia foi realizado pela Xerox, em 1991, e tinha como finalidade encontrar um mecanismo para garantir a autenticidade de documentos.

O especialista 8 assegura que as *blockchains* são os sistemas mais seguros existentes e que, desde 2009, a primeira e principal *blockchain* do mundo, a rede *bitcoin*, jamais foi hackeada. No entanto, ele alerta para os diversos golpes sofridos por engenharia social⁵.

Opinião essa contemplada pelo entrevistado 2, que diz que um dos principais desafios das *blockchains* está justamente na usabilidade, já que a experiência do usuário ainda é complexa. Além disso, ele defende que outro grande desafio das *blockchains* públicas reside no fato delas serem *permissionless* (não permissionadas), ou seja, qualquer usuário pode fazer o que quiser sem precisar de nenhum tipo de permissão. Ele argumenta que, mesmo sendo muito menos frequente do que no mercado tradicional, ainda há um espaço nas *blockchains* em que elas viabilizam o financiamento de atividades ilícitas.

Com uma outra visão, o entrevistado 6 justifica que a tecnologia é uma importante aliada na prevenção de fraudes. Ele ilustra uma empresa que gera um arquivo texto da folha de pagamento e o envia para o banco para que este realize o pagamento dos funcionários de acordo

⁵ Engenharia social refere-se à arte de ludibriar um indivíduo, observando seu comportamento, com o fito de identificar suas fragilidades e atuar sobre elas para obter algo de valor desse indivíduo ou prejudicá-lo. Em outras palavras, é o ato de aplicar golpe em um indivíduo ou em uma organização (Oliveira; Pinto, 2022).

com o arquivo. Esse processo possui grande potencial de fraude, já que basta alguém alterar o arquivo durante o processo para que o banco execute o pagamento erroneamente. Caso esse trânsito de informação fosse realizado através de *blockchain*, não correria o risco dessa alteração durante o processo, uma vez que se trata de algo facilmente verificável. Ele adiciona ainda que o mesmo raciocínio pode ser usado para auditar uma cadeia logística.

Em um caso de uso envolvendo a logística, o especialista 4 cita um projeto do Mercosul, que está em uso desde 2020 (Serpro, 2023). Nesse caso, toda a parte transfronteiriça de mercadorias (aduanas) é registrada em *blockchain*, e os diferentes países do bloco econômico cooperam entre si dentro de uma mesma base de dados, sem correrem o risco de uma das partes adulterá-los ou fraudá-los, já que as transações precisam ser aprovadas pelo consenso dos participantes.

Em outro caso de uso envolvendo a cooperação entre diferentes países, o mesmo entrevistado comenta sobre um projeto que ainda carece de informações divulgadas, a moeda dos BRICS. Segundo o profissional, insinua-se que os múltiplos estados do bloco econômico terão que manter um banco central em *blockchain*. Por conseguinte, essa entidade funcionaria de maneira segura e sem precisar necessariamente confiar em um único emissor.

O entrevistado 4 expõe que, no passado, as empresas precisavam criar redes fechadas para interagir entre elas, com alta restrição para a troca de dados. No entanto, o *blockchain* permite que ocorra essa troca sem precisar ter muita confiança nos pares que formam a rede, devido a questões como protocolo de consenso, identidade e imutabilidade, que garantem que ninguém consiga controlar a rede ou falsificar um dado. Facilitando, dessa forma, a integração entre empresas.

Essa ausência de confiança total entre todos os participantes da rede, segundo o profissional, era a razão pela qual, no passado, a carteira de identidade, o RG, era estadual em vez de ser nacional. Conforme o especialista, só foi possível criar o novo RG de forma nacional por ele ser em *blockchain*. Esse sistema utiliza a *Hyperledger Besu* como um *backbone* (“espinha dorsal”, em tradução livre) unindo todos os estados.

O entrevistado 4 ainda comenta sobre as carteiras multi assinaturas, que garantem que a transferência de algum ativo não esteja sob o poder de apenas uma pessoa, sendo necessário que várias carteiras assinem a transação para que ela seja efetivada. Ele também revela que a *blockchain* permite garantir que uma determinada pessoa é quem afirma ser ou que possui a propriedade de algo de forma muito mais simples, podendo inclusive provar ou fornecer uma informação sem precisar expô-la, um processo denominado de *zero knowledge proof* (ZKP).

Um caso de uso interessante que está sendo estudado pela União Europeia é o compartilhamento de informações do passaporte para as companhias aéreas em viagens aéreas. Ele defende que esse compartilhamento é uma vulnerabilidade de segurança, já que os passaportes dos viajantes podem ser expostos em casos de vazamento de dados, podendo acarretar a falsificação deles. Nesse contexto, seria possível criar um *hash* temporário do passaporte para que a companhia aérea consiga verificar que aquele passaporte é realmente do viajante apenas cruzando a informação da identidade na *blockchain* com o *hash* fornecido do passaporte. Esse protocolo criptográfico pode resolver inúmeros outros casos de prova de identidade, melhorando a segurança da população quanto aos vazamentos de dados.

Já o entrevistado 7, conforme já relatado no subcapítulo 3.3.1, defende a ideia de que os usuários da internet podem passar a ter mais controle de seus próprios dados a partir de sites construídos com base em *blockchain*, sem virar refém dos algoritmos, e até mesmo ser recompensado financeiramente pela utilização dos dados pessoais.

Ele também levanta a discussão sobre a computação quântica⁶, que segundo o entrevistado 8 é um risco para toda a criptografia atual, desde a criptografia de redes sociais, como o *WhatsApp* até de bancos, do *bitcoin* e dos sistemas nucleares, já que todos os esses sistemas são criptografados pelo algoritmo SHA-256. No entanto, o especialista 7 argumenta que existem alguns algoritmos em algumas *blockchains* chamados de fractais, que oferecem maior resistência à quebra pela computação quântica.

Dessa forma, o entrevistado 1 resume bem ao afirmar que a cibersegurança é um caso em que a própria *blockchain* soluciona o problema porque, por ser uma rede criptografada e transparente, não é difícil desenvolver aplicações envolvendo segurança cibernética. Assim como as inúmeras soluções comentadas no presente subcapítulo, como soluções de identidade digital, transparência, descentralização e proteção contra fraudes. Todavia, há desafios como usabilidade, proteção contra atividades ilícitas e os avanços da computação quântica.

⁶ A computação quântica se baseia na mecânica quântica para realizar algumas tarefas de forma mais eficiente que um computador clássico. Entre as aplicabilidades, está uma maior facilidade na fatoração, que é utilizada como base para diversos algoritmos criptográficos (José *et al.*, 2013).

3.3.8 Computação em Nuvem

A interseção entre computação em nuvem e *blockchain* é bastante explorada por empresas, que fornecem soluções que conectam essas duas tecnologias. No entanto, essa relação apresenta um paradoxo, que foi amplamente discutido pelos especialistas.

O entrevistado 7 explica que a *blockchain*, por si só, já é uma grande rede de computação em nuvem, visto que são vários servidores distribuídos ao redor do mundo processando e armazenando um grande volume de dados. Explicação essa que também é contemplada pelo especialista 3, que expõe que a ideia original da *blockchain* era substituir a computação em nuvem.

No entanto, ele contrapõe dizendo que, em casos de NFT que possuem imagens, várias dessas imagens são armazenadas em servidores centralizados como a AWS, da empresa Amazon. Há uma segunda possibilidade de armazená-las em um servidor distribuído, que é mais descentralizado, chamado de IPFS. Esse sistema também é comentado pelo especialista 7, que salienta que, ainda que não seja um protocolo descentralizado, ele já é um protocolo *on-chain*, que permanece disponível para qualquer usuário desde que ele cumpra com os requisitos da rede. Nesse caso, ele explica que é possível desenvolver um projeto que precise de alguma informação presente no IPFS e utilizar de comandos para buscar essa informação de volta para o contrato que está sendo desenvolvido.

Todavia, a maioria dos especialistas argumentou que, no geral, não são as *blockchains* que oferecem soluções em nuvem, mas sim as empresas de soluções em nuvem fornecendo soluções de *blockchain* na nuvem. Esse é o caso do entrevistado 4, que ainda classificou esses serviços dos grandes *datacenters* em três grupos: oferecem ou (i) nós de *blockchain*, ou (ii) plataformas para criar e gerenciar uma *blockchain* privada, ou (iii) APIs prontas para consumir ou interagir com a *blockchain* sem o usuário se preocupar com seus detalhes técnicos.

Em alinhamento com esse fato, o entrevistado 2 diz que há “uma sobreposição razoável entre o mundo das nuvens e o mundo das *blockchains*”. Ele argumenta utilizando os exemplos das redes descentralizadas *Cardano* e *Ethereum*, as quais têm boa parte dos nós operando em serviços centralizados, como os da Amazon ou da Microsoft. Ele também menciona o caso da Covantis, uma rede permissionada que opera toda na Azure, da Microsoft.

Complementando esse pensamento, o entrevistado 5 afirma que as próprias organizações descentralizadas preferem utilizar sistemas em nuvem centralizados, o que ele considera ruim para o ecossistema. O especialista ainda explicou que a justificativa dessas organizações para essa escolha é o preço e a qualidade do serviço, que ainda são pouco

competitivos. Ainda assim, ele conclui que, mesmo não existindo ainda, ele continua acreditando na descentralização, visto que, com a internet ficando mais rápida, em um futuro próximo, com as tecnologias de 5G e 6G, já seria possível criar sistemas eficazes de nuvem descentralizada.

O entrevistado 8 acrescenta que a computação em nuvem permite que os usuários criem uma máquina virtual em locais que possuem uma fibra ótica melhor, o que pode ser importante no processo de mineração das *blockchains*. Consequentemente, as *blockchains* evoluíram muito por utilizarem desses serviços em nuvem, no entanto, a contrapartida foi o fato de vários dos nós das redes descentralizadas serem hospedados em cinco empresas de *Cloud*, sendo elas Amazon, Google, Microsoft, Oracle e Alibaba. Esse *trade-off* gera inúmeras críticas da comunidade cripto, e o especialista afirma que servidores *Bare Metals*, que são servidores verticalizados e independentes feitos pelo usuário sem a necessidade de colocá-los na nuvem, são necessários para haver algum nível de descentralização.

Mesmo acreditando que a centralização é predominante nesse mercado, o entrevistado 8 lembra de dois projetos de soluções em nuvem descentralizada. O primeiro é um chamado Filecoin, com a proposta de oferecer um espaço de armazenamento em nuvem descentralizado (“um Google Drive descentralizado”, nas palavras dele), que deve ser pago utilizando o token próprio do sistema. Esse token atualmente possui um valor de mercado de 3 bilhões de dólares, sendo a quinquagésima maior *blockchain* do mundo. Por conseguinte, infere-se que os investidores possuam altas expectativas no projeto.

O segundo caso apresentado pelo especialista é o Render, que não tem a ver com armazenamento, mas sim com processamento. Um caso de uso para esse projeto é o de um usuário que precisa treinar um modelo de IA, mas não possui capacidade suficiente para isso, então ele utiliza esse projeto para que outro usuário com um computador ocioso possa treiná-lo. Dessa forma, “ele conecta capacidade ociosa de processamento ao longo do mundo para pessoas que necessitam daquela capacidade”. O especialista conclui que esse projeto em específico consegue ser bem competitivo, já que o valor pago é razoável pelo fornecedor da capacidade de processamento estar monetizando sobre um ativo que provavelmente ele já teria.

O entrevistado 5 também comenta a existência desse tipo de projeto, assim como o entrevistado 4. No entanto, o especialista 4 argumenta que esse tipo de projeto ainda está muito no estágio dos *Early Adopters*, ainda distante de chegar no *mainstream*.

Em resumo, a relação entre computação em nuvem e *blockchain* possui, de fato, um paradoxo entre conveniência e descentralização. Enquanto empresas, desenvolvedores e

participantes da rede se aproveitam da infraestrutura centralizada para suas aplicações, essa dependência compromete a descentralização do sistema. No entanto, já existem projetos promissores com propostas de diferentes serviços em nuvem descentralizados, mas que ainda sofrem com desafios técnicos, econômicos e de experiência do usuário para competir com os sistemas centralizados.

Nesse sentido, mesmo ainda restrito aos *Early Adopters*, alguns dos desafios da computação em nuvem descritos no capítulo 2 seriam minimizados com o uso de sistemas de computação em nuvem descentralizados, como segurança, privacidade e confiabilidade, já que os sistemas são criptografados e possuem uma série de procedimentos de segurança adicionais, como a própria descentralização. Outro desafio minimizado é a disponibilidade, visto que a descentralização dos sistemas permite uma continuidade se um dos servidores da rede se desligar. No entanto, nessa situação, a interoperabilidade continuaria sendo um entrave.

3.3.9 Internet das Coisas

A convergência entre a Internet das Coisas e o *blockchain* tem sido objeto de diversos estudos e experimentações práticas, a qual já possui muitos casos de uso, em setores distintos, aqui citados. A tecnologia em evidência, segundo os especialistas, consegue reduzir um dos principais desafios para a implementação do IOT, a segurança da informação e a restrição de acesso (Santos *et al.*, 2021).

O entrevistado 1 sugere que IOT é uma importante ferramenta para alimentar dados para a *blockchain*, que ajuda a dar rastreabilidade a esses dados. O entrevistado 6 complementa essa ideia, dizendo que “o dado tem a mesma credibilidade de quem fez o *input* do dado”. Logo, já que a partir da inserção dos dados os mecanismos de cibersegurança são bastante rígidos, é necessária apenas uma entrada crível para que sejam gerados dados de qualidade e que haja uma adoção das tecnologias nas cadeias produtivas.

O setor de pagamentos também foi identificado como um dos principais setores beneficiados dessa integração. O entrevistado 7 exemplificou não só o caso de um mercado de autosserviço, o qual precisa validar as transações de forma rápida e confiável, como também um projeto de alunos universitários que integrava uma *blockchain* a um sistema de bilhetagem de metrô, desenvolvendo um sistema NFC que se conectava com a carteira do usuário. Ele defende que esses são ótimos casos de uso, já que o foco do *blockchain* é justamente garantir que as transações sejam feitas de maneira correta, inviolável e imutável.

Nesse mesmo foco, o entrevistado 8 apresenta o exemplo da Mercedes, que passou a catalogar o estoque em *blockchain*, já que no processo original havia frequentes erros de contagem no processo de separação. Dessa forma, toda vez que um funcionário retira uma peça, é gerada uma interação *on-chain*, salvando de forma inviolável o que foi retirado, garantindo que a contagem do estoque esteja sempre confiável. Contudo, ele defende que esse projeto seja mais uma fonte de pesquisa e desenvolvimento para a empresa aprofundar seus estudos e se emponderar sobre o assunto de *blockchain*.

Também abordando o setor automotivo, o entrevistado 5 garante que a integração entre IOT e *blockchain* poderia melhorar a confiabilidade dos automóveis. Ele ilustra que, no Brasil, a prática de alteração do velocímetro ainda é comum, o que prejudica a própria fabricante, que passa a ter uma pior imagem no mercado, já que o carro tende a apresentar problemas mais cedo quando comparado à quilometragem aparente no velocímetro. Nesse sentido, além de ser uma proteção para o consumidor, as próprias empresas automobilísticas também se beneficiariam ao registrarem, através de dispositivos conectados à internet, o velocímetro em uma *blockchain*, podendo ainda expandir esse raciocínio para outras peças. Ele adiciona que, mesmo desconhecendo a existência desses projetos, acredita que eles já devem estar sendo estudados pelas empresas do setor.

O especialista 2 também comentou da proteção do consumidor proporcionada por essa junção de tecnologias. Ele exemplifica em um projeto em que já trabalhou envolvendo uma fábrica de suínos e um supermercado, projeto esse que também foi comentado no subcapítulo 3.3.5, sobre integração de sistemas. Segundo ele, a *blockchain* foi integrada com sensores responsáveis por registrar a movimentação das peças entre a fábrica e o supermercado. Essa segurança dos registros beneficiava todas as partes envolvidas, já que o supermercado teria uma melhor rastreabilidade para a cadeia reversa caso precisasse fazer um *recall* de algum produto, a fábrica teria informações como distribuição, velocidade e temperatura e o consumidor teria acesso a um produto com maior segurança alimentar.

O mesmo entrevistado também menciona um segmento das *blockchains* que é chamado de DePin, sigla em inglês para *decentralized physical infrastructure networks*, que são redes que integram dispositivos físicos para um determinado caso de uso. Ele comenta o exemplo da organização Helium, que fornece uma rede descentralizada de Wi-Fi 5G. Isso ocorre por ela conectar usuários que comprem um dispositivo da rede para fornecem a internet para os vizinhos ou usuários que passam pelo local e utilizam a internet desse provedor. Dessa forma, o usuário da internet paga em tokens da rede (\$HNT) para o proprietário do *hotspot*.

Esse exemplo também é comentado pelo entrevistado 8, que acrescenta que a Helium fica com uma taxa de administração. Além desse e do exemplo da Mercedes, ele também argumenta sobre a possibilidade uma grande fazenda na região Centro-Oeste do país criar uma rede *Peer-to-Peer* de monitoramento de condições climáticas, distribuindo sensores em diversos pontos, como em antenas e tratores a fim de monitorar informações como temperatura, pressão e umidade do ar. Dessa forma, o produtor rural teria uma maior assertividade na previsão durante a colheita, para saber, por exemplo, se o trator corre o risco de atolar ou não.

Também falando do setor agropecuário, o entrevistado 3 argumenta que a internet das coisas aumenta a segurança de que o dado está sendo coletado de forma mais fiel do que fosse por um ser humano, e a *blockchain* dificulta que a informação seja alterada. Ele ainda expõe um projeto em que um token é lastreado por animais. Nesse caso teórico, ele argumenta que se as informações estiverem em uma rede pública como a da Ethereum, o investidor teria a segurança que, se coletadas corretamente, os dados estão corretos, diferentemente do que se estivessem em um banco de dados tradicional.

O entrevistado 4 completa a diversidade de aplicações existentes combinando IOT e *blockchain* no setor agro, resumindo que já existem projetos os quais o solo, as árvores, as frutas e as imagens das plantações são monitoradas de forma autônoma através de sensores, que enviam as informações para a *blockchain*. Com isso, a captação financeira para esses projetos é feita através de contratos de tokenização, com promessas de retornos na forma de dividendos. Dessa maneira, os investidores conseguem acompanhar, com maior precisão e segurança, o andamento da plantação.

Nesse contexto, o especialista também menciona que já existem projetos de tokenização de crédito de carbono, um produto que o entrevistado 8 acredita que o Brasil seja um potencial grande exportador.

O especialista 4 lembra do projeto de energia fotovoltaica de um aluno, que utiliza de sensores nas placas para coletar os dados e serem enviados para a *blockchain*. Com isso, a empresa consegue ver em tempo real a saúde do investimento em energia sustentável. Isso com a garantia de que uma vez que o dado chega do sensor para a *blockchain* ele não pode mais ser falsificado. Ademais, por se tratar de uma rede descentralizada, evita-se a necessidade de sobrecarregar um servidor central, por ser possível ter diferentes nós recebendo e propagando esses dados para os demais.

Ele complementa dizendo que utilizar dessas ferramentas para fazer auditoria também seria interessante para o governo, já que muitas vezes existe um conflito de interesse entre o

detentor do meio de produção e os órgãos reguladores, que querem impor normas ambientais. Logo, uma das maneiras de evitar uma má conduta, seria tornar a auditoria mais imutável e mais transparente, algo que a *blockchain* proporciona.

Em resumo, há inúmeras possibilidades para integrar essas duas tecnologias, seja com o intuito de obter dados mais confiáveis e transparentes ou seja com o intuito de obter potenciais novas fontes de renda para a população com esses projetos descentralizados, algo que, segundo o entrevistado 5, é muito importante, visto que há uma tendência de redução de empregos no futuro. Portanto, o impacto dessas tecnologias transcende o aspecto meramente operacional, promovendo uma revolução não apenas em vários setores como também na distribuição de renda da sociedade.

3.3.10 Síntese das Discussões

Postas as relações entre os nove pilares da Indústria 4.0 com o *blockchain*, o Quadro 2 sintetiza o que foi discutido em cada tópico.

Quadro 2: Síntese Pilares Indústria 4.0 e *Blockchain*

Big Data	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a procedência dos dados e fornecendo uma ferramenta confiável para rastreá-los. Ele complementa o <i>Big Data</i> adicionando valor ao dado, garantindo que não foi manipulado, além de permitir um sistema de votação para dados vindos de fontes não confiáveis, como a internet. Isso pode ser extremamente útil para treinar modelos de IA abertamente.</p> <p>Mesmo com o <i>blockchain</i> oferecendo uma boa infraestrutura para análises de dados, armazená-los nele pode ser caro, sendo as <i>appchains</i> uma alternativa econômica.</p> <p>O uso do big data em conjunto com um CBDC pode levar ao surgimento de um novo tipo de economia, a qual é fortemente gerida com base em dados históricos.</p> <p>Além disso, o <i>blockchain</i> possibilita que os donos dos dados voltem a ter mais controle e garantia do uso sobre eles, facilitando a remuneração pela sua utilização.</p> <p>O <i>Big Data</i> também auxilia o <i>blockchain</i> analisando dados de redes públicas.</p>
Robôs Autônomos	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a segurança, a confiabilidade e a identificação de robôs autônomos, além de tornar os comandos mais seguros e resistentes à manipulação externa.</p> <p>Surgem possibilidades de criação de robôs assistentes pessoais que utilizam criptomoedas para automatizar transações financeiras.</p>
Simulação	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a simulação a partir do seu relacionamento com o <i>Big Data</i>. Ao automatizar o registro de mudanças de estado de um processo ou de um ativo em um <i>blockchain</i>, as simulações tornam-se mais precisas.</p>

	<p>O <i>blockchain</i> também pode ser utilizado para registrar simulações de segurança ou ativos em simuladores.</p>
Realidade Aumentada	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a segurança e o rastreo dos itens virtuais.</p> <p>Além disso, essa combinação de tecnologias pode ser usada no setor de compras e de jogos, oferecendo experiências imersivas com a segurança do <i>blockchain</i> e até em indústrias pesadas, oferecendo imutabilidade e segurança dos dados, como em processos de auditoria sem deslocamento.</p>
Integração de Sistemas	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a segurança, a confiabilidade e o rastreo dos dados, sendo uma ótima forma de compartilhamento de dados entre empresas.</p> <p>Integrar sistemas públicos e privados através de <i>blockchains</i> híbridas garantiria produtos de melhor qualidade ou com segurança alimentar, além de reduzir a falsificação. No entanto, há problemas de insegurança regulatória para isso.</p> <p>Os oráculos são um importante agente para a integração, visto que integram dados <i>off-chain</i> com dados <i>on-chain</i>.</p>
Manufatura Aditiva	<p>O <i>blockchain</i> atua melhorando a proteção da propriedade intelectual de projetos, associando-os a NFTs e garantindo remuneração justa aos criadores.</p> <p>Ainda, é possível utilizar o <i>blockchain</i> para superar desafios de logística e de integração na cadeia produtiva.</p>
Segurança Cibernética	<p>O <i>blockchain</i> atua prevenindo fraudes ao garantir a imutabilidade, a veracidade e a transparência dos dados. Dessa forma, ele permite a cooperação segura entre pares sem total confiança (empresas ou países) ao criar um banco de dados compartilhado com protocolos de consenso pré-definidos. Também permite que usuários da internet tenham mais controle sobre seus dados.</p> <p>A cibersegurança é intrínseca ao <i>blockchain</i> por possuir sistemas altamente criptografados e rastreáveis, sendo considerados altamente seguros. No entanto, ainda possui problemas relacionados à usabilidade e à experiência do usuário.</p> <p>O processo de ZKP oferece um meio de verificação de informações sem expô-las.</p>
Computação em Nuvem	<p>O <i>blockchain</i> atua como uma rede de computação em nuvem, com servidores distribuídos em todo o mundo. No entanto, essa relação possui um paradoxo, pois boa parte da infraestrutura de redes descentralizadas está hospedada em nuvens centralizadas. Por isso, os servidores <i>bare metals</i> são importantes.</p> <p>Dessa forma, as empresas de nuvem oferecem soluções para <i>blockchains</i>. No entanto, soluções de nuvem descentralizadas estão surgindo, mas ainda enfrentam desafios técnicos e econômicos.</p>
Internet das Coisas	<p>O <i>blockchain</i> atua na rastreabilidade, na imutabilidade e na transparência dos dados fornecidos pela IOT. Ela também possibilita a restrição segura de acesso.</p> <p>A IOT, por outro lado, fornece uma entrada mais confiável para a <i>blockchain</i> do que a feita por humanos. Desse modo, a integração das tecnologias melhora a</p>

	<p>confiabilidade geral dos dados, podendo ser usada para tokenização de ativos reais e em auditorias.</p> <p>As DePINs são um novo mercado descentralizado de infraestruturas físicas e oferecem novas possibilidades de renda para a população.</p>
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nesse viés, é possível perceber o quanto, de fato, o *blockchain* pode otimizar e viabilizar a Indústria 4.0. Além disso, também se percebe uma forte relação entre o *blockchain* e os princípios da Indústria 4.0, sendo eles:

- **Interoperabilidade:** a interoperabilidade continua sendo um desafio para o *blockchain*. Entretanto, a utilização de oráculos, dispositivos inteligentes e de redes *blockchains* compatíveis, podem resultar em uma melhora da interoperabilidade, como ilustra o exemplo da redução dos *spreads* bancários com o DREX, citado a seguir no subcapítulo 3.4.1;
- **Virtualização:** o *blockchain* permite uma maior segurança para a virtualização através da imutabilidade e da rastreabilidade da tecnologia, como elucida o caso de uso da petrolífera brasileira citado no subcapítulo 3.3.4;
- **Descentralização:** a descentralização é uma característica intrínseca ao *blockchain*, que permite a confiança em uma rede sem a necessidade de confiar totalmente em seus participantes. Dessa forma, a *blockchain* permite a criação de infraestruturas descentralizadas, como a da Helium e a da Render, citadas nos respectivos subcapítulos 3.3.9 e 3.3.8. Além disso, desde a criação do *blockchain*, com o *Bitcoin*, a tecnologia já cria um dinheiro eletrônico descentralizado;
- **Capacidade em tempo real:** o *blockchain* não atua diretamente neste ponto, podendo ser utilizado para a imutabilidade de informações importantes, como mudanças ou falhas, ou até mesmo para aumentar o nível de confiança nesses comandos. No entanto, informações presentes na *blockchain*, são disponibilizadas em tempo real;
- **Orientação de serviços:** serviços e sistemas novos podem ser criados com o *blockchain*, fornecendo uma infraestrutura confiável para compartilhar informações e decidir por consenso, podendo ser de forma descentralizada ou híbrida, como nos exemplos da aduana do Mercosul e do RG nacional, citados no subcapítulo 3.3.7;

- **Modularidade:** como essa é uma característica física do chão de fábrica, o *blockchain* não impacta diretamente esse atributo. No entanto, tecnologicamente, o *blockchain* apresenta uma estrutura modular, visto que um mesmo bloco pode ser usado em infinitas aplicações diferentes.

Em síntese, percebe-se que a tecnologia *blockchain* atua diretamente, não só nos pilares da Indústria 4.0, como também nos seus princípios. Além disso, confrontando diretamente os desafios específicos de cada pilar da Indústria 4.0 com suas possibilidades de aplicação do *blockchain*, é perceptível que a tecnologia permite amenizar ou resolver, não todos, mas a maioria deles.

3.4 CENÁRIO BRASILEIRO

Esta última parte sintetiza e demonstra tudo o que foi discutido nas entrevistas em relação ao cenário brasileiro quanto à tecnologia *blockchain*, e quais são as oportunidades e os desafios do país relacionados à tecnologia nos próximos anos. Vale destacar que muitos casos de uso brasileiros já foram citados no subcapítulo 3.3.

3.4.1 Vantagens e Oportunidades no Brasil

O surgimento de novas tecnologias, incluindo a tecnologia *blockchain*, gera inúmeras vantagens e oportunidades para os diversos países do globo. Aqui, serão reunidas algumas delas no contexto do Brasil, abordando diversos casos de uso em diferentes setores.

A logística é um desses principais casos de uso da *blockchain* na economia real, com empresas como o Carrefour, Walmart e Nestlé já utilizando essa tecnologia para rastrear frutas, café e outros alimentos, de acordo com o especialista 1. Ele também ressalta que, até começar a existir uma tokenização efetiva no Brasil, o setor mais beneficiado será realmente o setor logístico. No entanto, o setor agrícola possui o maior potencial, já que será diretamente favorecido pela tokenização, podendo tokenizar fazendas e produções agrícolas de maneira que facilite não só a verificação do produto, como também ofereça a possibilidade do comprador rastreá-lo.

Ademais, na logística, o *blockchain* deve ajudar principalmente nos processos produtivos envolvendo mais de uma empresa. Essa é a ideia defendida pelo entrevistado 6, que

diz ser possível criar um NFT associado a cada produto fabricado, com todas as informações necessárias para auditar o processo sendo armazenadas no NFT. Nesse sentido, todas as empresas da cadeia produtiva teriam uma melhor gestão do controle de qualidade. Segundo ele, com as técnicas atuais, ou teria que haver um *player* centralizando esse banco de dados e cada empresa teria um acesso diferente para fazer as atualizações, ou teria que haver um compartilhamento da estrutura de dados entre as empresas, porém com o nível de segurança baixo.

Outro exemplo de caso de uso no setor logístico é comentado pelo entrevistado 5, envolvendo também a segurança alimentar. Para ilustrar, ele afirma que um porco que chega em um abatedouro com 150kg não poderia chegar à prateleira com um peso maior, como 200kg. Nesse sentido, ele vê que a maior dificuldade para isso é agrupar toda a cadeia de suprimentos no *blockchain*.

O especialista defende que o uso do *blockchain* impactaria positivamente todo o controle interno nas indústrias e empresas em geral, em auditorias fiscais e no controle financeiro. Nas palavras dele: “o *blockchain* é um banco de registro. Se ele não tiver outra função ou outra tecnologia, só pelo registro ser imutável, já é algo muito interessante”.

Devido a isso, o entrevistado 5 enxerga ainda maior potencial nas empresas que trabalham com produtos relacionados à vida, como empresas farmacêuticas, alimentícias e automobilísticas. Nesse caso, principalmente, ele defende que seria importante os dados serem compartilhados com o governo, melhorando a auditoria. Ele acrescenta que o país também possui um problema com medicamentos falsos. No entanto, o entrevistado levanta questões quanto ao real desejo dessas indústrias de compartilhar dados como esses com o governo.

Nesse sentido, o especialista aponta que essa utilização deveria ser mais de interesse público do que de interesse privado, enxergando um grande benefício ao uso em diplomas, posto que frequentemente há casos de profissionais com diplomas falsos, além de, normalmente, haver uma demora para um graduado receber, de fato, o seu diploma após a graduação. Não obstante, ele cita um caso em que o BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social) estudava utilizar criptomoedas para fazer empréstimos com finalidades específicas de uso, mas crê que uma das razões pelas quais o projeto parou foi a falta de interesse político em permitir esse rastreo.

O entrevistado 5 concluiu dizendo que uma das grandes vantagens do Brasil é a cultura do brasileiro de ser *Early Adopter*, ou seja, ser pouco conservador do ponto de vista tecnológico.

Segundo ele, em eventos de criptomoedas, países como Colômbia e Costa Rica ainda estão discutindo o que já se discutia no Brasil há alguns anos.

O entrevistado 7 concorda que a transparência do *blockchain* poderia beneficiar muito o setor público. Ampliando esse benefício para o terceiro setor e todos os setores que necessitam de mais transparência. Ele também apresentou uma iniciativa do Governo Estadual de São Paulo - um estado com tanto carro que possui um rodízio na capital - que está registrando todos os automóveis e suas transações na *blockchain*. Conjuntamente, ele comenta que já existem associações de notários desenvolvendo soluções para o registro de imóveis do país começar a ser feito com base na tecnologia. Ele adiciona que, embora já exista uma rede *blockchain* do sistema de cartórios do Brasil, ainda é uma rede de testes e, por isso, não está aberta.

Com uma opinião diferente, o entrevistado 8 acredita que o setor de cartório vai ser um “perdedor” no longo prazo pela tecnologia *blockchain*. Nesse sentido, ele explica que é um setor que deve ser altamente disruptado, visto que “hoje em dia existe um cartório muito mais eficiente, que são os *blockchains*”.

Outro exemplo de uso governamental da tecnologia foi comentado durante o diálogo com o entrevistado 2, que lembrou que todo o processo de manutenção das aeronaves no Brasil, que é regido pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), é registrado em uma aplicação que roda em uma *blockchain*.

O setor agrícola é outro setor com enorme potencial para aproveitar os benefícios da *blockchain* e, consequentemente, já é explorado por algumas empresas. Conforme cita o especialista 2, mais de 75% das exportações de grãos do Brasil já são tokenizados por meio da plataforma da Covantis. Além disso, ele lembra de outra empresa que opera nesse setor brasileiro, a Agrotoken, que é acelerada por um programa da Visa.

Além do especialista 2, outro especialista a citar essa mesma empresa é o entrevistado 8, que explica que ela utiliza algumas *commodities*, como soja, milho e trigo, para tokenizá-las e formar um sistema de pagamentos. Dessa forma, o vendedor de tratores, que antes precisava aceitar promessas de sacas de soja como forma de pagamento, agora consegue aceitar o token do fazendeiro, que se torna um colateral em um cartão da bandeira Visa. Para o especialista, o interessante desse produto é que o lojista não precisa saber que está recebendo um token, já que a liquidação física das sacas acontece fora do sistema.

O entrevistado 3 lembra da existência de grandes detentores de terras na região do Pará, na Amazônia, criando tokens que são colocados à venda no âmbito da União Europeia, e comprometendo-se que não irão degradar a floresta. Ele acrescenta que, mesmo não sendo

necessário utilizar tokens para fazer esse tipo de transação, o seu uso facilita ou facilitará quando esse mercado crescer mais e tiver mais liquidez. O entrevistado 6 também contribui dizendo que existem esses projetos de tokenização de produtos sustentáveis na Amazônia, mas que ainda precisam de um arcabouço legal e regulatório para ganharem escala.

A insegurança jurídica também é abordada como um entrave pelo entrevistado 4, que afirma que, mesmo já havendo uma boa adesão aos ativos tokenizados, a tokenização de ativos tende a ganhar uma adesão ainda maior se o Brasil evoluir na regulamentação.

Ele resume que o Brasil já está, de alguma forma, trabalhando e comercializando diversas soluções envolvendo *blockchain*, tendendo a expandir significativamente nos próximos anos. Especialmente no uso governamental, em *supply chains*, na tokenização de ativos reais e no setor bancário. O profissional explica que o setor bancário deve evoluir especialmente em razão do DREX, que é o projeto de CBDC do Brasil.

O respondente 4 também afirma que, pela ótica tecnológica, o Brasil está muito à frente de vários outros países nos estudos de CBDC, mesmo existindo mais de 100 países com projetos, seja de maior ou menor grau, de CBDC. Ele acrescenta que algumas pessoas acreditam que isso é algo bom, enquanto outras creem ser algo ruim, já que o governo terá ainda mais controle sobre o dinheiro. O especialista conclui que, como já trabalhou em bancos, acredita que realmente será mais prático fazer alguns tipos de monitoramento, no entanto, ressalta que o governo sempre teve esse controle, que antes envolvia um cascadeamento de ordens para bloquear alguma conta, e agora esses bloqueios poderão ser diretos.

Opinião essa contemplada pelo entrevistado 8, que afirma que algumas pessoas encaram isso como algo negativo, mas outras veem como algo positivo. Ele defende que o Brasil está se movimentando mais do que a média mundial nesse sentido, com o DREX e as consultas da CVM. O especialista explica que o projeto do DREX começou como uma moeda, mas já evoluiu para ser uma plataforma de tokenização de ativos do mundo real (RWA – *Real Word Assets*).

O profissional 4 destaca que o DREX vai permitir a tokenização não só do Real, como também de títulos públicos de investimento, e que as garantias em *blockchain* permitirão aos bancos oferecerem serviços com custos menores. Isso pois será possível emprestar dinheiro com o colateral do empréstimo sendo uma criptomoeda ou um NFT, que ficará bloqueado no contrato inteligente.

Opinião essa que é reforçada pelo entrevistado 6, que explica que dois dos componentes mais importantes dos *spreads* bancários para determinar a taxa de juros final do

tomador são: o custo operacional e o custo de recuperação de garantias. Ele afirma que atualmente o processo é oneroso, já que exige mão de obra humana ainda não automatizada devido à dificuldade de interoperabilidade entre os sistemas que geram as informações. No entanto, utilizando uma *blockchain* como o DREX, que foi inspirado na rede *Ethereum*, com vários tipos de ativos sendo transacionados dentro da rede, essa reconciliação se tornaria ainda mais simples e rápida e, conseqüentemente, mais barata. Ele afirma que, em testes, a redução do custo operacional foi da ordem de 50% ou mais. Logo, além de reduzir o custo final do empréstimo, esse arcabouço tecnológico também permite reduzir o valor da transação com que o empréstimo seja financeiramente viável.

O especialista elucida que, no caso de empresas menores que prestam serviços para multinacionais e necessitam obter crédito de financiamento para entregar um projeto, as taxas de juros podem reduzir drasticamente se as multinacionais garantirem o pagamento ao banco pelo serviço. No entanto, ele explica que atualmente esse tipo de transação precisa ser na ordem de, no mínimo, R\$ 50 milhões para ser financiada, mas, utilizando a tecnologia *blockchain*, já ocorreram projetos de R\$ 2 milhões conseguindo ter acesso a esse tipo de crédito, podendo chegar a centenas de milhares de reais com um arcabouço jurídico e regulatório adequado.

Essa redução de valores ocorre pela redução do custo operacional. Por outro lado, o custo de recuperação de garantias também seria bruscamente reduzido se, contando com um arcabouço jurídico bem determinado, o contrato houvesse uma garantia utilizando o DREX. Nesse caso, a recuperação da garantia ocorreria automática através de um contrato inteligente. Um exemplo seria a transferência automática da posse de um imóvel ou de um carro para o banco caso o devedor deixe de pagar as parcelas do financiamento. Por esses motivos, o DREX, no geral, possibilitaria uma redução nos *spreads* bancários cobrados, assim como disse o entrevistado 4.

Além da redução dos *spreads* bancários, o profissional 6 adiciona que, com o aprofundando o mercado através do DREX, a moeda brasileira (Real) também teria sua volatilidade reduzida, aumentando a previsibilidade. Desse modo, o mercado real se desenvolveria com mais facilidade.

Outros entrevistados também abordaram o DREX quando interrogados sobre as vantagens e as oportunidades do uso do *blockchain* no Brasil. O entrevistado 1 argumentou que “a maior vantagem do Brasil em relação aos outros países é o DREX, justamente pelo poder tecnológico e poder de negócios que ele tem”, explicando que o DREX é uma tecnologia que permite a tokenização de ativos reais. Conforme o especialista, esse mercado de RWA (*Real*

Word Assets, traduzindo, ativos do mundo real) está começando a se desenvolver tão rápido quanto foi com a Inteligência Artificial no começo.

Ele explica que o DREX também está tendo o apoio da iniciativa privada e que no futuro todas as empresas tendem a se conectarem a ele. Concluindo que, é uma operação em que a *Chainlink* oferece a interoperabilidade e o fornecimento de informações da Web 2 para Web 3, enquanto a Microsoft fornece a infraestrutura e a segurança e bancos como o Banco Inter contribuem com o *know-how* de operações internas.

Também debatendo sobre as vantagens brasileiras, o profissional 3 elucida que o presidente do Banco Central discursa sobre uma migração para a economia tokenizada, e, além disso, que o DREX será a ponte do sistema financeiro fechado brasileiro para as finanças descentralizadas (DeFi) através da *Ethereum*, uma rede interoperável. Um processo que é inevitável, embora precise de tempo para superar alguns desafios existentes, de acordo com o especialista.

Devido a essas e outras questões, o entrevistado 6 defende que o Brasil estará em posição de vanguarda caso coloque o DREX em prática. Ele adiciona que, tanto na pesquisa quanto no desenvolvimento, o país já é um vanguardista, viabilizando um ambiente seguro para esse tipo de ferramenta ser utilizado.

Mesmo alguns dos entrevistados pontuando que o Brasil ainda necessita melhorar o arcabouço regulatório para a utilização da *blockchain*, o entrevistado 7 pontua que o nosso cenário regulatório possui iniciativas que estimulam a inovação, como os *sandboxes* regulatórios⁷, estimulados pelo Banco Central, CVM e outras autarquias, além de demais iniciativas lideradas pelo SEBRAE. Nesse sentido, ele opina que o Brasil possui um ambiente favorável no geral, com muitas indústrias e setores interessados no uso da tecnologia.

O profissional adiciona que já existem grandes empresas no setor de pagamentos no Brasil, como a Transfere, empresa que desenvolveu a maior criptomoeda estável não referenciada em dólar do mundo. Ele menciona que muitos bancos tradicionais já desenvolvem sistemas em *blockchain*, ou adquirem empresas que dominam essa tecnologia, lembrando da transação envolvendo o Banco Itaú e a Liqi.

⁷ *Sandboxes* regulatórios são ambientes experimentais, controlados e monitorados por reguladores, que dispensam ou afrouxam exigências regulatórias tradicionais da atividade. Neles, empresas selecionadas podem testar seus modelos de negócio inovadores (Rangel, 2022)

Além dele, outro entrevistado a citar essa empresa foi o entrevistado 6, que, além da Liqi, citou também a Credix e a Amfi, explicando que essas são três empresas que trabalham com produtos parecidos com fundos de direito creditório, sendo a Liqi com foco no mercado interno, a Credix com foco em vender recebíveis brasileiros para o exterior e a Amfi com foco em projetos menores. No entanto, ele afirma que o *blockchain* ainda é subutilizado nos fundos de direito creditório por falta de uma moeda oficial. Sendo assim, esses projetos precisam utilizar *stablecoins*⁸ para processar esses recebíveis, criptomoedas que, por mais que sejam lastreadas na moeda fiduciária, o mercado tradicional não confia tanto quanto.

Mesmo já contando com empresas como a Tranfero, o profissional 8 acredita que os pequenos *players*, como todo o comércio da Rua 25 de Março em São Paulo, que compra produtos de pequenos produtores e fabricantes chineses, serão amplamente beneficiados com o DREX. Isso porque, atualmente, o Real é uma “*restricted currency*”, ou seja, em transações de câmbio, é necessário primeiro fazer um câmbio de real para uma moeda forte, como o dólar ou o euro, para depois fazer outro câmbio dessa moeda forte para a moeda desejada. Isso é ruim porque há perdas duas vezes no *spread*, sendo muito ineficiente.

Nesse sentido, se vários bancos centrais utilizarem o mesmo *framework*, essas operações cambiais passam a ser mais simples, e com a possibilidade de serem realizadas 24/7. Isso se torna mais possível pois, segundo o especialista 8, o Brasil já está exportando o modelo do DREX para outros países, como a Colômbia e a Índia.

Ele exemplifica que, atualmente, para enviar dinheiro do Brasil para a África custa-se, em média, 6,5% e a operação demora três dias para ser liquidada. No entanto, utilizando criptomoedas (como o DREX ou o Bitcoin), custaria uma fração do percentual, com liquidação quase instantânea e disponível 24/7.

Um dos casos de uso atuais da *Stellar*, contado pelo especialista 1, é exatamente a criação de carteiras de criptomoedas para a população africana. Ele diz que esse é um dos projetos mais importante para ele, pois a *Stellar* leva um pouco de esperança para as comunidades africanas, com serviços que tornam possível um brasileiro fazer em Pix e os africanos receberem em criptomoedas, dando-lhes acesso a diversos serviços financeiros.

Argumentando que o sistema financeiro brasileiro já é muito sofisticado, o entrevistado 8 diz que o Brasil conta, por exemplo, com empresas registradoras de recebíveis

⁸ Stablecoins são uma categoria específica de criptomoedas que são estáveis e pareadas a uma moeda fiduciária, como o dólar, o euro ou o real (Urbano, 2023)

de cartão de crédito, sendo o único país do mundo a contar com empresas especializadas para esse fim. Desse modo, ele acredita que “o DREX vai ser mais uma parafernália tecnológica que o Brasil vai ter, muito interessante”.

O especialista 8 adiciona que um dos principais ganhos com o DREX é que esta será a primeira vez que o Banco Central terá uma plataforma acessível por *fintechs*, permitindo que elas possam se conectar *on-chain* com o sistema. Ele também garante que, mesmo sendo *on-chain*, o sistema contará com práticas do sistema tradicional, como diligência prévia (*due diligence*) e todo o processo de combate à lavagem de dinheiro (AML – *Anti Money Laundering*).

Em concordância com os entrevistados 4 e 8, o especialista 6 exaltou também o sistema financeiro atual do Brasil. Nas palavras dele:

O Brasil tem um sistema financeiro muito moderno e muito organizado, com um potencial de usar essa organização para se tornar um *hub* em prestação de serviço financeiros. Como hoje vemos outros países que trabalham dessa forma, você tem a Inglaterra perdendo espaço nisso, você tem a Suíça que tem bastante espaço e está investindo muito, Singapura também tem. E o Brasil tem o potencial de oferecer isso com base numa economia grande, diferente do que Singapura e Suíça, que são hubs financeiros, mas a economia deles é uma economia muito pequena. O Brasil tem, além disso, o mercado profundo em várias áreas, isso facilita. No entanto, precisamos acertar também a nossa parte macroeconômica, que sofre volta e meia algumas instabilidades. A gente precisa ter isso melhor acertado, mas de qualquer forma a gente tá montando um arcabouço que pode posicionar o Brasil como um hub global financeiro utilizando essa tecnologia.

Quando interrogado sobre quais seriam os setores mais beneficiados pela tecnologia *blockchain*, o entrevistado 6 elucidou que, para a economia real, o maior uso seria nas cadeias complexas de produção para a exportação, já que há uma necessidade maior de rastreio. Ele explica que a assimetria de informações entre empresas de diferentes países é muito grande, e, por isso, as empresas externas têm dificuldade em compreender o processo produtivo no Brasil. No entanto, com o registro desse processo no *blockchain*, tais empresas conseguem garantir que a produção segue os padrões estabelecidos. Facilitando, dessa maneira, a origem controlada que alguns produtos possuem.

Por outro lado, na área financeira, ele defende que as pequenas empresas e as pequenas fazendas seriam as mais beneficiadas, já que conseguiriam obter financiamentos mais simplificados pela utilização do DREX.

Por outro lado, o entrevistado 2 acredita que as pessoas são as mais beneficiadas com o *blockchain* devido a “casos de uso cripto e DeFi”, por uma questão de autossobrerania. No entanto, ele crê que as indústrias também são beneficiadas por conseguirem mais eficiência, transparência e rastreabilidade com seu uso, concluindo que “não é que não está tendo adoção

(de *blockchain*), é que ninguém fala de infraestrutura. *Blockchain*, no final, é uma infraestrutura”.

Sob outra ótica, o entrevistado 7 defende que, no Brasil, os setores de jogos e o financeiro são os que mais se beneficiam do *blockchain* atualmente. Além desses, ele cita também grandes possibilidades de benefício no setor público, no setor imobiliário, tanto na parte de registro quanto na parte de construção civil, podendo ser utilizado para rastreio de materiais e no setor agro, também pela rastreabilidade permitida pelo *blockchain*. Ele resume dizendo que qualquer setor ou indústria pode ser beneficiado pelo *blockchain*, já que, a depender do aspecto esperado, todas necessitam de imutabilidade e transparência de dados.

Além do exemplo do uso na separação das peças na Mercedes (citado no subcapítulo 3.3.9), o entrevistado 8 cita outro exemplo no setor automotivo, mais especificamente na governança da empresa Stellantis, dona de marcas como a Fiat e Chrysler. Conforme o profissional, a Stellantis possui um projeto de governança descentralizada, uma governança 3.0, no qual cada processo de uma tomada de decisão é colocado no *blockchain*. Exemplificando, ele diz que, em um processo de compras, é gerado um *timestamp* na *blockchain* deles cada vez que um comprador negocia, informando qual foi o preço inicial, o preço fechado pela transação, o preço de referência utilizado pelo comprador. Isso informa aos diretores se o processo de compra foi seguido ou não. Então, como a cada compra é gerado esse *timestamp* imutável, eles criam um *data lake* ao longo do tempo, grande o suficiente para retroalimentar o processo de compra, otimizando a negociação.

Concluindo, o especialista 8 acredita que os setores mais beneficiados são: o setor bancário, o setor de comércio exterior, o setor do agro e o setor de ESG. Setor este que, conforme o especialista, o Brasil possui muito potencial, com a parte de ativos verdes, créditos de carbono e energia renovável. Facilitando a venda uma vez que estão tokenizados.

Por fim, o entrevistado 6 conclui que:

Apesar dessa discussão de finanças, economia, *blockchain*, parecer ser uma coisa muito sofisticada, o objetivo principal do DREX é a democratização de acesso aos serviços financeiros no Brasil. Então é muito importante que a gente trabalhe junto com o setor financeiro e produtivo para fazer com que o crédito chegue para as pequenas empresas, para os pequenos fazendeiros, para as famílias. O objetivo, apesar de ter esse potencial de transformar o Brasil num hub global, que parece uma questão muito sofisticada do ponto de vista financeiro, esse não é o principal objetivo do projeto, o principal objetivo do projeto é atender essa população que tem dificuldade de acessar linha de crédito, oportunidade de investimento, então a democratização do mercado financeiro é o maior objetivo.

Em síntese, o Brasil possui inúmeras vantagens e oportunidades para o uso de *blockchain*, vantagens essas que vão desde a cultura de *Early Adopter* brasileira até o já robusto sistema financeiro do país. As oportunidades de uso também são bem variadas, indo desde a própria população ter a possibilidade de uma “autossoberania” com o uso de criptomoedas descentralizadas, até a possibilidade de conseguir crédito mais barato através do DREX e grandes indústrias utilizarem a tecnologia em várias partes da cadeia produtiva e da gestão organizacional, tornando-as mais eficientes, transparentes e mais bem geridas.

3.4.2 Desvantagens e Entraves no Brasil

Mesmo com o uso da tecnologia tendo diversas vantagens, há também várias desvantagens e entraves da utilização do *blockchain* no contexto brasileiro. Alguns já foram citados anteriormente e aqui serão aprofundados, como a insegurança jurídica e regulatória, outros serão adicionados.

O entrevistado 1 aponta que o legislativo brasileiro ainda precisa se organizar. Ele argumenta que conhece diversas empresas que estão apenas aguardando uma legislação específica para lançarem algum produto envolvendo *blockchain*. Ele também defende que, para as empresas, é muito arriscado lançar um produto como a tokenização de imóveis ou de agricultura para futuramente terem que adaptar tudo de acordo com a regulação.

O especialista 1 ainda compara a situação brasileira com a situação dos Estados Unidos, que está organizando eventos e medidas regulatórias para incentivar o setor de RWA. Segundo ele, o Brasil ainda está aquém, com discussões que já deveriam ter sido resolvidas, como a discussão que ocorre entre os cartórios e os bancos pela tokenização. Ele explica que o setor bancário quer adaptar logo a tokenização de imóveis, visto que o setor utiliza imóveis como ativos e atua nos fundos imobiliários. Já o setor de cartório acredita que, se os bancos dominarem a tokenização imobiliária, eles terão muito poder, logo, defendem que o domínio legal da tecnologia deva ficar com os cartórios. Nesse sentido, ele elucida que seria muito mais fácil para os bancos venderem imóveis se os tokenizassem em diversas partes.

O entrevistado 2 também acredita que a regulação brasileira possui um *gap* que torna o Brasil menos competitivo do que poderia ser no âmbito global. Conforme o especialista, a regulação implementada no Brasil para *blockchains* públicas beneficia muito mais as grandes corretoras centralizadas do que propriamente os empreendedores que estão construindo soluções com *blockchain*.

Ele também compara o Brasil com a Estônia. Segundo o especialista 2, a Estônia já adota o *blockchain* em vários processos, como registros civis, registros públicos, orçamentos e até em eleições. Além da Estônia, países como Malta, Singapura e Suíça também possuem uma regulação mais amigável, permitindo e incentivando o empreendedorismo.

Outrossim, o entrevistado 3 concorda que o Brasil carece de uma legislação mais abrangente. Ele explica que, até o momento, não há uma definição de termos como “criptoativo”, com os reguladores mudando o significado dos termos entre si. De acordo com o advogado especialista, o Brasil possui uma lei, a lei 14.478/2022, que trouxe um conceito, mas entregou toda a responsabilidade para o Banco Central.

Na sua visão, deveria haver um órgão específico para separar quais são as responsabilidades do Banco Central, quais são da CVM e, principalmente, aquilo que não é nem mercado financeiro nem valor mobiliário. O especialista 3 conclui que o poder público deveria investir mais, exatamente, nesse último, que será onde eventualmente se usará *blockchain* na área de saúde, no agronegócio e em outros setores.

O entrevistado 3 conclui que, atualmente, a regulação brasileira desincentiva muito, por querer regular com normas complexas qualquer tipo de operação. Consoante o profissional, os próprios órgãos do Governo Federal, com os quais ele trabalha em conjunto, possuem dificuldade de conseguirem desenvolver projetos *blockchain* devido à dificuldade jurídica, mesmo já sendo muito avançados tecnologicamente.

Em concordância com os entrevistados, o especialista 4 adiciona que “no âmbito regulatório a gente está bem atrás da União Europeia, tanto do ponto de vista de existirem regulamentações, quanto do ponto de vista de elas serem minimamente justas e também de não serem uma regulação que oprime a evolução da tecnologia”. No entanto, ele contrapõe dizendo que, por mais que o Brasil necessite evoluir muito na regulamentação, do ponto de vista técnico, o país está evoluindo rapidamente, mais do que países que, por via de regra, deveriam estar mais evoluídos, como os Estados Unidos.

O profissional adiciona que as regulações não permitem que um banco use uma *blockchain* pública como a *Ethereum*, apenas *blockchains* privadas. Além desse caso envolvendo o setor bancário, ele elucida também que o setor médico enfrenta grandes entraves regulatórios, explicando que, na pandemia causada pelo COVID-19, uma *blockchain* teria ajudado a OMS a coletar e cruzar dados de diferentes países. Dessa forma, conclui que os maiores entraves hoje nascem da regulação, que ou é ruim ou é inexistente, gerando insegurança jurídica e entraves para a evolução da tecnologia.

Outro a comentar explicitamente sobre a insegurança jurídica foi o entrevistado 8, que acredita ser um problema global. No entanto, ele adiciona que até poucos anos atrás (cerca de 5 anos), no Brasil, havia mais preconceito com o *blockchain*, e várias pessoas tiveram contas fechadas em bancos tradicionais por estarem operando com criptomoedas. Incluindo diretores da Transfero, uma importante empresa do setor já citada no subcapítulo 3.4.1, tiveram suas contas na pessoa física fechadas por serem diretores de uma empresa que operava com criptomoedas.

Na visão do especialista 8, isso torna muito arriscado que empresas maiores, como Itaú, BTG e B3 invistam em cripto. Nesse sentido, ele comenta que elas preferem fazer “*spin-off*” em outras empresas do grupo, ou seja, que empresas menores utilizem a tecnologia pesquisada pela principal.

Assim como os entrevistados 1, 2, 3, 4 e 8, o profissional 6 concorda que alguns produtos *blockchain*, como os que usam *stablecoins*, têm dificuldade de escalar por falta de uma segurança jurídica adequada.

Não obstante, ele argumenta que o arcabouço regulatório depende de uma retroalimentação, já que regular tudo no começo pode travar a inovação. Nesse sentido, ele explica um paradoxo, dizendo que o regulador não consegue prever tudo o que vai acontecer, o que pode resultar em um travamento do mercado, mesmo que a falta de regulação também afaste investidores. Nesse viés, ele argumenta que é necessário ter vários experimentos pequenos para posteriormente abrir o “leque de inovação”. A partir do momento em que esse leque já está suficientemente aberto, com projetos em fase mais madura, é necessário regular para oferecer mais segurança aos envolvidos.

Mesmo não falando explicitamente sobre a insegurança jurídica, o entrevistado 5 defende que um dos principais entraves para o sucesso da tecnologia no Brasil é a falta de interesse político. Ele lembra que todas as armas do Exército Brasileiro seriam registradas em *blockchain*. No entanto, esse registro acabou sendo cancelado, o que o levanta suspeitas de *lobby* político por parte de empresas de armas. Nas palavras dele “Não interessa (às empresas), porque o *blockchain* te dá rastreabilidade, te dá controle fiscal, te dá controle de qualidade”. Devido a isso, ele crê que “muitas dessas empresas não pretendem ter o *blockchain* exatamente porque fica muito mais difícil burlar a lei”.

Desse modo, o especialista também acredita que a centralização tem uma grande vantagem sobre a descentralização exatamente pelo *lobby* político, o que faz com que as empresas centralizadas continuem concentrando mais dinheiro. Ele também adiciona que, na

opinião dele, a tecnologia foi adotada no SUS pois “alguém não percebeu” e que poderia estar muito mais desenvolvida em mercados como o de registro de imóveis, mas o grande *lobby* existente é um dificultador desse avanço.

Sob a mesma ótica, o entrevistado 5 argumenta que essas questões políticas ocorrem no mundo todo, mas são piores no Brasil. Ele supõe que, no Brasil, há um grande conflito de interesses, já que “o dono do frigorífico é o primo do deputado, o dono da televisão é o irmão do deputado”, havendo um “ajuste de cavaleiros”. Além desse problema político, ele também considera que há falta de conhecimento dos políticos sobre a tecnologia.

Opinião essa que é compartilhada pelo especialista 4, que defende que, tanto o conflito de interesses quanto a falta de competência dos políticos são grandes entraves para o sucesso do *blockchain* no Brasil. De acordo com ele, há conflitos de interesse não só por haver “bancadas” no Congresso, como também porque os próprios deputados e senadores são também empresários. O profissional adiciona que, mesmo quando não ocorre esse boicote intencional à tecnologia, a incompetência técnica relativa a esses assuntos é um grande problema. Ele exemplifica lembrando de uma CPI envolvendo o Luciano Hang e o Ronaldinho Gaúcho, na qual os senadores ou deputados não sabiam sequer pronunciar corretamente os termos, falando, por exemplo, “créptomoeda” ao invés de “criptomoeda” e “biticóio” ao invés de “bitcoin”, demonstrando desentendimento sobre o assunto que eles estavam discutindo.

Além de desafios regulatórios e políticos, muitos entrevistados também explicitaram desafios envolvendo mão de obra qualificada. O entrevistado 2 elucida que, nesse ramo, as empresas brasileiras competem com empresas do mundo inteiro por mão de obra. Ele argumenta que conhece um número substancial de pessoas técnicas no assunto, que moram no Brasil, mas trabalham para projetos e empresas no exterior para receberem em moedas mais fortes. Dificultando, assim, que as empresas brasileiras consigam implementar e escalar as soluções que utilizam *blockchain*.

Em consonância com o entrevistado 2, o entrevistado 4 menciona um recrutador que destaca exatamente que contrata bem profissionais brasileiros para trabalharem em empresas no exterior. Isso se deve ao fato de o país contar com profissionais qualificados, mas oferecer poucas boas oportunidades de trabalho nesse segmento.

Diferentemente do profissional 4, o especialista 3 argumenta que o maior desafio não é a disputa por talentos, mas sim a barreira educacional. Ele explica que faltam pessoas qualificadas, que compreendam a fundo a tecnologia *blockchain* e os *smart contracts*. Essa visão também é compartilhada com o especialista 7, que também destaca que ainda não há uma

quantidade suficiente de desenvolvedores *blockchain* e que faltam cursos voltados para a tecnologia no Brasil, ou que integram *blockchain* no currículo educacional.

Um outro desafio específico do Brasil, apontado pelo entrevistado 8, é a dificuldade de acesso ao capital. Ele elucida que há apenas três empresas de *Venture Capital* que investem em cripto, um cenário diferente do que ocorre no exterior. Essa falta de investimento em novas tecnologias no Brasil também foi pontuada pelo entrevistado 3.

Além de todos esses entraves, o DREX, juntamente, foi apontado como uma desvantagem em alguns momentos. O entrevistado 2, por exemplo, pontuou que a única iniciativa que o Governo tem a oferecer do ponto de vista do *blockchain* hoje é o DREX. No entanto, ele acredita que seu projeto não está indo em uma direção ideal na execução, devido a questões relacionadas a privacidade e a proteção de dados. Em sua visão, o Brasil necessita e deveria ser um país ainda mais pioneiro nesse sentido, visto que é um país agrário-exportador.

Sob outra perspectiva, o entrevistado 3 também critica o DREX, argumentando que ele mantém a estrutura centralizada ao continuar existindo por meio de instituições financeiras e de bancos. Nesse sentido, ele acredita que os bancos, que terão a possibilidade de se integrarem a esse novo mercado cripto, serão os reais beneficiados, não o cidadão.

Do mesmo modo, o especialista 5 pontua que, embora o CBDC brasileiro apresente algumas novidades interessantes, ele não é revolucionário, visto que o sistema bancário continuará preservado. Ele defende que seria interessante o Banco Central se integrar diretamente com a população, sem o intermédio de bancos, posto que “hoje a nossa relação com o banco central são os 8% de papel moeda que circula, o resto os bancos criam por meio de crédito”. Dessa forma, ele defende a existência de um CBDC “varejista”, no qual haveria, por exemplo, um aplicativo do Banco Central nos *smartphones* da população, modificando, de fato, o sistema financeiro atual.

Outrossim, o profissional também argumenta que apenas os bancos e algumas grandes empresas terão acesso ao DREX, com os principais beneficiados sendo os bancos, que farão suas conciliações bancárias através de um sistema *blockchain*. Isso tornará o sistema um pouco mais confiável que o atual.

Nesse sentido, o entrevistado 6 defende que o DREX não pode ser comparado a uma *blockchain* pública, visto que, um dos lemas nas finanças descentralizadas é que “o código é a lei” e, em qualquer relação na economia contratual, “a lei é a lei”. Ele explica que, mesmo havendo o contrato que rege um ponto específico, ainda existe um arcabouço legal e regulatório antes do contrato. Ele afirma que, mesmo sendo uma possibilidade interessante, há um

problema de uma assimetria grande de informação, posto que “se hoje uma pessoa normal pega um contrato escrito em português para ler e já tem dificuldade de interpretar exatamente, imagina a pessoa pegar um *smart contract* para analisar”.

Nesse sentido, ele crê que essa assimetria de informação limitaria o uso dessas tecnologias a especialistas em *smart contracts*, um número muito pequeno de pessoas, precisando, então, de uma camada regulatória para garantir o que pode ou não ser feito. O especialista 6 conclui que o código auxilia na execução do contrato, mas caso aconteça algum problema, é necessário utilizar o sistema convencional brasileiro para resolvê-lo.

Além dos desafios específicos do Brasil, desafios gerais também foram apontados pelos especialistas. O entrevistado 1 argumenta que a tecnologia ainda é um grande obstáculo para um uso amplo, visto que é necessário um conhecimento prévio da rede. Nesse sentido ele explica que, para criar um projeto, é necessário compreender detalhes como qual é o tipo de rede que será utilizado e qual é a escalabilidade dessa rede. Ele explica que isso é uma dificuldade ainda maior pois, se criado um aplicativo na rede da Solana, e posteriormente precisar migrá-lo para rede da *Ethereum*, o processo será muito caro e trabalhoso.

Já o entrevistado 3, argumenta que mesmo existindo muitas iniciativas, o *blockchain* ainda está sendo um experimento em muitas delas, sem nada tão impactante a ponto de mudar a vida cotidiana. Ele defende que atualmente só existem dois reais casos de sucesso do *blockchain*: o *Bitcoin* e as finanças descentralizadas.

O entrevistado 6 também relembra que a entrada de dados ainda é um ponto crítico para o *blockchain*, enquanto o especialista 7 argumenta que o *blockchain* ainda é uma tecnologia nova. Devido a isso, as próprias empresas ainda possuem uma camada de preconceito, que precisa ser vencida para que a tecnologia entre de fato no dia a dia das empresas. No entanto, ele pontua que não enxerga entraves específicos da tecnologia, mas sim oportunidades.

Em síntese, o *blockchain* é uma tecnologia nova que ainda está sendo estudada e em fase de testes muitas vezes. Seus desafios perpassam por diversos fatores, desde fatores intrínsecos da própria tecnologia, citados aqui ou nos subcapítulos anteriores, até fatores relacionados a regulação e dilemas morais da sociedade.

3.4.3 Quadro Síntese

Da mesma forma como foi feito no subcapítulo 3.3.10, foram resumidos, no presente subcapítulo, todas as vantagens, desvantagens, oportunidades e entraves do uso da tecnologia *blockchain*, exceto aqueles relacionados ao DREX. No Quadro 3, é possível visualizar as principais vantagens.

Quadro 3: Vantagens do *Blockchain*

Imutabilidade	Registros em <i>blockchain</i> são permanentes, não podendo ser alterados.
Transparência e Rastreabilidade	Os registros em <i>blockchain</i> são facilmente rastreáveis e auditáveis, trazendo benefícios para setores como logística, alimentos, farmacêutico, governamental e terceiro setor.
Segurança Contra Fraudes	O consenso da rede junto com a criptografia avançada torna o <i>blockchain</i> um dos sistemas mais seguros existentes.
Zero Knowledge Proof	É possível provar a existência e a veracidade de uma informação ou de um ativo sem o expor, através da utilização de <i>hashes</i> temporários.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Dadas as principais vantagens da tecnologia *blockchain*, também foram discutidas diversas oportunidades geradas por ela, as quais foram sintetizadas no Quadro 4.

Quadro 4: Oportunidades do *Blockchain*

Uso na Logística	Grandes empresas já utilizam <i>blockchain</i> na cadeia logística, como Carrefour, Walmart, Nestlé, Mercedes e a aduana do Mercosul.
Tokenização de Ativos Reais	Já são comercializados vários ativos reais tokenizados, principalmente imóveis, produtos agrícolas e ativos sustentáveis.
Redução de Custos Operacionais	Automatização de processos e redução de intermediários, principalmente em auditorias e transações financeiras.
Autossoberania	A população passa a ter a possibilidade de usar um sistema financeiro diferente do tradicional.
Melhoria na Governança	As características do <i>blockchain</i> permitem uma melhoria na governança de empresas e de governos, seja através da transparência e da rastreabilidade, seja pela imutabilidade dos dados, permitindo criar um <i>data lake</i> confiável.
Transparência Governamental	A possibilidade de uso em cartórios, registros de carros e de imóveis e auditoria de gastos públicos e de programas sociais reduz fraudes e aumenta a eficiência administrativa.

Geração de novos negócios	As inovações da <i>blockchain</i> possibilitam a criação de novos negócios e novas fontes de renda para a população. Além de também permitirem a existência de organizações descentralizadas.
Cultura Brasileira	O brasileiro possui uma cultura adepta à inovação e às novas tecnologias.
Hub Financeiro	O Brasil tem um sistema financeiro muito moderno e altamente organizado, permitindo explorar mais as características do <i>blockchain</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No entanto, mesmo havendo diversos pontos positivos nessa tecnologia, também foram citados alguns pontos negativos. No Quadro 5, estão condensadas as desvantagens do uso do *blockchain*.

Quadro 5: Desvantagens do *Blockchain*

Complexidade de implementação	As redes <i>blockchains</i> podem ser complexas, precisando de conhecimento prévio para programá-las. Além disso, muitas vezes há uma dificuldade de migração de rede.
Custo Alto	<i>Blockchains</i> públicas podem ter altos custos para armazenar dados, inviabilizando o seu uso como um <i>data lake</i> .
Dependência de Infraestrutura	Muitos projetos descentralizados de <i>blockchain</i> dependem de servidores centralizados em nuvem, como AWS e Google Cloud.
Entrada de Dados	A entrada de dados continua sendo um ponto crítico para o sistema, já que é necessária a integração com outras tecnologias ou o apoio humano.
Experiência do Usuário	A experiência do usuário ainda é frequentemente complexa, dificultando a adoção em massa da tecnologia.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Além das desvantagens da tecnologia, o Brasil perpassa por diversos entraves para obter uma maior adoção do *blockchain*, entraves esses que foram compilados no Quadro 6.

Quadro 6: Entraves ao *Blockchain*

Mão de Obra Qualificada	Há uma escassez de pessoas qualificadas em <i>blockchain</i> . Além das empresas brasileiras sofrerem concorrência de empresas estrangeiras.
Proteção de Dados	Deve haver um equilíbrio entre transparência e privacidade, respeitando sempre a LGPD.
Preconceito	Há um preconceito por parte de empresas e da população ao uso do <i>blockchain</i> .
Legislativo	Falta um arcabouço regulatório claro e robusto para a adoção do <i>blockchain</i> , dificultando a escalabilidade.

Insegurança Jurídica	Ocorrências passadas, como o bloqueio de contas de diretores de empresas cripto, desincentivam o investimento nessas empresas e nessa tecnologia.
Resistência Setorial	O setor privado pode dificultar a adoção governamental através do <i>lobby</i> político e da disputa entre setores.
Conflito de Interesses	Muitas vezes o conflito de interesses pode desincentivar o uso da tecnologia por atrapalhar um negócio privado, ou até mesmo a corrupção.
Baixa Capacitação dos Políticos	Os políticos frequentemente mostram-se desqualificados em assuntos técnicos como <i>blockchain</i> e criptomoedas, o que pode gerar regulações inadequadas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os quatro quadros acima apresentaram as vantagens, desvantagens, entraves e oportunidades da tecnologia *blockchain*. No entanto, como o entrevistado 4 observou que as opiniões da população estão divididas quanto a esse novo sistema governamental, o Quadro 7 e o Quadro 8, sintetizam esses mesmos pontos sob a ótica do DREX.

Quadro 7: Oportunidades e Vantagens do DREX

Expansão do Mercado de RWA	A tokenização de ativos como imóveis, <i>commodities</i> , títulos públicos, entre outros, será facilitada e incentivada através do DREX.
Redução dos <i>Spreads</i> Bancários	O DREX permite uma redução significativa dos custos operacionais e de recuperação de garantia, reduzindo não só as taxas de juros de empréstimos, como também o valor mínimo necessário para algumas operações.
Maior Segurança Transacional	Será possível fazer transações utilizando <i>smart contracts</i> , com a autoexecução do contrato pré-definida no código.
Democratização Financeira	O DREX permitirá uma democratização de acesso a serviços financeiros, uma vez que viabiliza esses serviços serem mais baratos.
Internacionalização do Modelo	O Brasil já exporta o modelo do DREX para países como Colômbia e Índia, o que facilitará a relação comercial e barateará a conversão cambial com eles.
Menor Volatilidade do Real	A moeda brasileira será menos volátil com a maior profundidade de mercado proporcionada pelo DREX.
Economia 4.0	Com um maior volume de dados, será possível elaborar análises macroeconômicas mais precisas e criar políticas públicas mais eficazes.
Pesquisa e Desenvolvimento	O Brasil está mais avançado que a média global em termos de pesquisa e desenvolvimento de CBDCs, colocando-se em uma posição de vanguarda.
Ponte para o DeFi	O DREX possibilitará uma integração da economia centralizada (o Real) com a economia descentralizada através da rede <i>Ethereum</i> .
Sistema Financeiro Sofisticado e Profundo	O Brasil possui um sistema financeiro que já é, não só sofisticado, como também profundo, com uma economia grande, facilita a criação do DREX.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Contrapondo o Quadro 7, o Quadro 8 apresenta os entraves e as desvantagens do DREX.

Quadro 8: Entraves e Desvantagens do DREX

Centralização	Apesar de ser uma <i>blockchain</i> , o DREX será gerido pelo Banco Central, tendo outras instituições financeiras como validadores, o que gera preocupações quanto ao controle excessivo do governo.
Privacidade	O fato de ser uma <i>blockchain</i> levanta discussões sobre a privacidade do cidadão, que será mais bem monitorado pelo governo.
Manutenção do Sistema	O DREX é criticado por preservar o sistema bancário atual, favorecendo mais os bancos do que os cidadãos. Para alguns, o ideal seria uma CBDC direta do Banco Central com a população, sem o intermédio dos bancos.
O Código Não É A Lei	Diferentemente das <i>blockchains</i> tradicionais, nas quais o código do contrato rege todas as variáveis, no DREX o código do contrato irá reger apenas o contrato, contando com um arcabouço legal e regulatório por trás. Nesse sentido, o sistema judiciário pode determinar um resultado diferente do código. Esse ponto também é visto como positivo por alguns especialistas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Por fim, as tabelas evidenciam um panorama sobre o uso da tecnologia *blockchain*, destacando entraves, desvantagens, vantagens e oportunidades. Mesmo havendo desafios importantes como a falta de segurança jurídica e a dificuldade de encontrar mão de obra qualificada, várias iniciativas públicas e privadas já ocorrem no país, principalmente nos setores logístico, agro e financeiro. O DREX, por sua vez, possui um dilema considerável: à priori, uma maior centralização de poder e o monitoramento da população pelo Banco Central são fatores que preocupam. Ademais, a redução dos custos financeiros e a oferta de serviços mais baratos e seguros são fatores que levam novas perspectivas ao cidadão.

4. CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, foram exploradas diversas características da *blockchain* e da Indústria 4.0, evidenciando como uma tecnologia pode auxiliar, ou não, a outra. Mormente, foi feita uma revisão bibliográfica profunda para compreender conceitos sob a ótica da academia. Posteriormente, foram selecionados especialistas com conhecimento tanto em *blockchain* quanto em tecnologias que compõe a Indústria 4.0, para que então suas visões e experiências pudessem confrontar ou reforçar as teorias em entrevistas semiestruturadas, sob a luz do contexto brasileiro.

A partir dessas entrevistas e da análise qualitativa dos dados, foi possível atingir os objetivos inicialmente propostos, sendo possível compreender diversas oportunidades e desafios aqui explicitados e sintetizados em blocos e quadros. Entre os principais benefícios identificados, estão melhorias na confiabilidade e na rastreabilidade dos dados, devido à maior segurança e imutabilidade do sistema, permitindo o surgimento de novos modelos de negócio e o aprimoramento da governança e da eficiência empresarial ou governamental.

Entre os pilares da Indústria 4.0, destacou-se o benefício do *blockchain*, principalmente, na Cibersegurança e no *Big Data*. A partir dos benefícios gerados em ambos os pilares, foram destacadas oportunidades em todos os outros.

No entanto, os desafios também foram bastante comentados, principalmente no que tange a barreiras regulatórias e o conflito de interesses de políticos e da sociedade. Além desses, foram mencionadas limitações técnicas e a falta de interoperabilidade com sistemas centralizados. Também foi mencionado que, por mais que haja inúmeras aplicações práticas do *blockchain* em diversos setores, a adoção ainda está em fase inicial, predominantemente restrita aos *Early Adopters*.

Este estudo revelou-se relevante para explorar a interseção entre o *blockchain* e a Indústria 4.0 no contexto brasileiro, podendo ser estendido, muitas vezes, para um contexto global. Os principais setores identificados como positivamente impactados pela utilização dessa tecnologia foram a logística, o agronegócio, o setor financeiro e a administração pública, além do terceiro setor. Empresas com foco em exportação também foram apontadas como mais beneficiadas. No entanto, um setor que gerou discussão quanto a ser beneficiado ou prejudicado foi o setor cartorial.

Além dessa interseção entre as tecnologias e seus impactos nos setores, foi possível compreender também sobre como as CBDCs irão impactar a sociedade. O DREX, em desenvolvimento pelo Banco Central do Brasil, utiliza o *blockchain* para viabilizar um sistema financeiro ainda mais robusto, sofisticado e profundo, facilitando operações cotidianas, como transações de automóveis e outros bens materiais, além de mitigar riscos e reduzir custos em empréstimos bancários. No entanto, também foram mencionadas preocupações quanto ao acúmulo de poder pelo Banco Central, que terá acesso facilitado às informações.

Outrossim, a presente pesquisa também apresenta limitações pertinentes, como o tamanho da amostra, composta por oito especialistas, o que pode restringir a generalização das conclusões, e a impossibilidade de verificação das informações através do comparativo com a academia ou pela validação cruzada das respostas fornecidas. Além disso, o potencial viés

positivo à tecnologia pelos entrevistados, já que todos atuam diretamente com ela, pode ter influenciado as percepções expostas.

Outra limitação é a restrição da aplicabilidade setorial, o que impede a generalização das conclusões obtidas em um setor para os outros, demandando estudos específicos para cada setor da economia.

Por conseguinte, sugere-se, para trabalhos futuros, a aplicação da metodologia de Delphi, para que os especialistas possam realizar a verificação cruzada das informações até se chegar a um consenso entre o grupo. Além disso, também se mostra pertinente aumentar a amostra de especialistas, incluindo críticos da tecnologia, para proporcionar uma visão mais equilibrada. Adicionalmente, análises setoriais mais aprofundadas enriqueceriam o estudo, permitindo uma visão detalhada de como o *blockchain* se comporta em setores específicos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estratégia Brasileira para a Transformação Digital: E-Digital. Brasília: MCTIC, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/comunicados-mcti/estrategia-digital-brasileira/estrategiadigital.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ALBERTI, Eduardo André; SILVA, Leandro João da; D'OLIVEIRA, Ana Sofia. **Manufatura aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade**. Soldagem & Inspeção, Rio de Janeiro, v. 19, p. 190-198, 2014

ALBERTIN, M. R. et al. **Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2017. Anais [...]. [s. l.]: SEPR, 2017.

ANDRADE, P. A. F. L.; GUIMARÃES, I. F. G. DESAFIOS NO USO DO DIGITAL TWIN NA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA . **REVISTA FOCO**, [S. l.], v. 16, n. 8, p. e2830, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n8-082. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/2830>. Acesso em: 22 fev. 2025.

ARK INVESTMENT MANAGEMENT LLC. **Big ideas 2023**. Disponível em: <https://ark-invest.com/big-ideas-2024/> . Acesso em: 26 set. 2024

ARK Investment Management LLC. **Big ideas 2024**. Disponível em: <https://ark-invest.com/big-ideas-2024/> . Acesso em: 26 set. 2024

AZAMBUJA, Antonio João Gonçalves de; ALMEIDA, Vilson Rosa. **Um estudo bibliométrico das publicações sobre segurança cibernética na indústria 4.0**. Research, Society and Development, [s. l.], v. 10, n. 3, 2021.

AZUMA, Ronald T. **A survey of augmented reality**. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Cambridge, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

BASTOS FILHO, Teodiano Freire; FERRARI, Av Fernando. **Aplicação de robôs nas indústrias**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 1999.

BCB [Banco Central do Brasil], s.d.. **O que é o DREX?**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/drex> . Acesso em: 26 set. 2024

BRANCO, Sérgio. **Da web1.0 à web3.0 e além**. Memória e Pesquisa/Itaú Cultural, p. 12-18, 2023.

BRASIL. **Estratégia de segurança da informação e comunicações e de segurança cibernética da administração pública federal 2015-2018**. Brasília: [s. n.], 2015.

BUTERIN, Vitalik. **DAOs, DACs, DAs and more: an incomplete terminology guide**. Ethereum Blog, [s. l.], v. 6, p. 2014, 2014.

BUTERIN, Vitalik. **On public and private blockchains**. Ethereum Blog, [s. l.], 2015.

BUTERIN, Vitalik; GRIFFITH, Virgil. **Casper the friendly finality gadget**. arXiv preprint arXiv:1710.09437, [s.l.], 2017.

CODA, Felipe Alcarpe. **Arquitetura para aquisição de big data voltada para indústria 4.0**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

COTA, Eduardo et al. **Robótica na mineração**. Anais dos Seminários de Redução, Minério de Ferro e Aglomeração, v. 47, n. 2, p. 359-370, 2017.

CZECZOT, Grzegorz et al. **AI in IIoT management of cybersecurity for industry 4.0 and industry 5.0 purposes**. Electronics, Basileia, v. 12, n. 18, p. 3800, 2023.

DA SILVA, Carlos Eduardo Sanches et al. **Contribuição da análise de valor na simulação da manufatura**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA, 27., 2007. Anais [...]. [s. l.]: ENEGEP, 2007.

DA SILVA, Carlos Eduardo Sanches et al. **Contribuição da Análise de Valor na Simulação da Manufatura**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia, 2007.

DA SILVA, Marcelo Pereira et al. **Usos e benefícios da realidade aumentada na Indústria 4.0**. Revista Brasileira de Mecatrônica, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 48-64, 2022.

DE ALMEIDA GASPAR, Ana Elisa. **Principais desafios à integração de sistemas de informação: um estudo de caso no setor da banca**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

DE PAULA, L.; DIAN, M. de O. **COMPUTAÇÃO EM NUVEM: os desafios das empresas ao migrar para a nuvem**. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 18, n. 2, p. 304–315, 2021. DOI: 10.31510/inf.v18i2.1304. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1304>. Acesso em: 21 fev. 2025.

FALCÃO, Ana Carolina Rodrigues de Arruda. **Sistematização dos Pilares da Indústria 4.0: uma análise utilizando revisão bibliográfica sistemática**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

FARIA JÚNIOR, M. A. DE .; SILVEIRA, S. A. DA .. **O WhatsApp e a Plataformização no Brasil: uma descrição densa dos agentes articulados nas práticas de controle mediadas pela plataforma**. **Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 46, p. e2023136, 2023.

FIESP [Federação das Indústrias do Estado de São Paulo] (2024). **Cartilha tecnologia blockchain: um guia para a indústria de São Paulo**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/noticias/fiesp-lanca-cartilhas-explicando-a-tecnologia-blockchain-e-o-funcionamento-do-carf-e-do-controle-externo-pelo-tribunal-de-contas-da-uniao/> . Acesso em: 26 set. 2024

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 49. Havaí: IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HERNÁNDEZ, Yusdel Díaz. **Indústria 4.0: manufatura aditiva e suas contribuições para os processos industriais**. Editora Chefe, p. 38-46, 2024.

INÁCIO, Danilo et al. **A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a Indústria 4.0: uma revisão sistemática**. Revista Competitividade e Sustentabilidade, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 653-667, 2020.

JOSÉ, M. A.; PIQUEIRA, J. R. C.; LOPES, R. DE D.. Introdução à programação quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1–9, jan. 2013.

JUNIOR, Wilson Portela Santos; MACIEL, Higor Henrique; CATAPAN, Márcio Fontana. **Aplicação da realidade aumentada em processos de separação de peças em armazéns logísticos: uma revisão bibliográfica do tema**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 12, 2019.

KLEIN, Amarolinda; PACHECO, Fabiana Beal; RIGHI, Rodrigo da Rosa. **Internet of things-based products/services: process and challenges on developing the business models**. JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 439-461, 2017.

KOLBERG, Dennis; ZÜHLKE, Detlef. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. IFAC-PapersOnLine, Oxford, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.

KOPETZ, Hermann. Real-time model. In: KOPETZ, Hermann. **Real-time systems: design principles for distributed embedded applications**. Nova York: Springer, 2011. p. 79-110.

KOSTAREV, Gleb. **Review of blockchain consensus mechanisms**. Waves Platform, [s.l.] v. 31, 2017.

LAGO, Lucas. **Blockchain: confiança através de algoritmos**. Boletim, [s.l.] v. 2, n. 4, 2017.

LEME, Julia Avelar. **Tendências tecnológicas em supply chain: o uso de blockchain na cadeia de suprimentos alimentícia**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Negócios e Inovação) – Faculdade de Tecnologia de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2021.

LIMA, Davi Marques; LIMA, Álvaro Vieira. **A importância da segurança cibernética em sistemas de controle industrial**. XIII Congresso Virtual de Administração, Convibra, Rio de Janeiro, 2016.

LIMA, Paulo Ricardo Silva; PRESSER, Nadi Helena. **A Lei Geral de Proteção de Dados e os desafios para a gestão nas organizações brasileiras na era do big data**. P2P e Inovação, v. 8, n. 2, p. 109-120, 2022.

LYRA, João Guilherme. **Blockchain e organizações descentralizadas**. Rio de Janeiro: Brasport, 2019.

MAZZEGA, Letícia Carvalho. **Big data: oportunidades e desafios para os negócios**. 2016. Tese de Conclusão de Curso – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, 2016

MENDES, Cleiton Rodrigues; SIEMON, Franz Biondi; CAMPOS, Milena Monteagudo de. **Estudos de caso da Indústria 4.0 aplicados em uma empresa automobilística**. POSGERE, São Paulo, v. 1, p. 15-25, 2017.

MERKLE, Ralph C. **Method of providing digital signatures**. U.S. Patent n. 4,309,569, 5 jan. 1982.

MOORE, Gordon. **Moore's law**. Electronics Magazine, Nova York, v. 38, n. 8, p. 114, 1965.

MORDOR INTELLIGENCE RESEARCH & ADVISORY. **Blockchain no tamanho do mercado de manufatura e análise de ações** – tendências e previsões de crescimento (2024 - 2029). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/blockchain-in-manufacturing-market> . Acesso em: 26 set. 2024

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system**. [S. l.]: Satoshi Nakamoto, 2008.

OLIVEIRA, . B. F. de; PINTO, J. S. de P. LGPD'S Contributions to mitigate the effects of Social Engineering mechanisms. **REVES - Revista Relações Sociais**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 14712–01e, 2022. DOI: 10.18540/revesv15iss4pp14712-01e. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reves/article/view/14712>. Acesso em: 22 feb. 2025.

RANGEL, Juliana Cabral Coelho. Abordagens regulatórias experimentais para a inovação no sistema financeiro : uma análise do instrumento do sandbox e sua implementação no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 29, n. 57, p. [147]-181, jun. 2022.

ROCHA NETO, A. Análise comparativa entre a tecnologia blockchain e banco de dados relacional: caso aplicado na colaboração com o terceiro setor. 2023.

RODRIGUES, Vinicius Picanco et al. **Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações**. [s. l.], 2016.

RÜßMANN, Michael et al. **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, Boston, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

S. OCHOA, Iago ; A. DA SILVA, Bruno ; R. Q. LEITHARDT, Valderi. Proposta de Arquitetura para o Uso de Blockchain em Redes Smart Grid. In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 19. , 2019, Três de Maio. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019 . ISSN 2595-4164.

SALES, L. S. Uma aplicação descentralizada (dApp/Web3.0) para registros de autorias em blockchain. 2022.

SANTOS, B. P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. S. F. S.; BORGES NETO, J. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; VIEIRA, L. F. M.; GOUSSEVSKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. F. **Internet das coisas: da teoria à prática**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE

COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS [SBRC], 31., 30 de maio de 2016. Anais [...]. Salvador: UFMG, 2016.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. **Indústria 4.0**: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SANTOS, M. M. .; FRANCO, M. L.; ALVES, W. M.; SOUZA, M. C. de; BARROS, G. F.; SILVA, M. M. da. Internet of Things: the search for the concept and future perspectives on its applicability. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 10, p. e140101018504, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i10.18504. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18504>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SARGENT, Robert G. **Validation and verification of simulation models**. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31., 1999. Proceedings [...]. [s. l.]: [s. n.], 1999. p. 39-48.

SERPRO [Serviço Federal de Processamento de Dados] (2023). **Como a tecnologia blockchain conecta as aduanas do Mercosul?** Disponível em: <https://www.serpro.gov.br/menu/noticias/noticias-2023/tecnologia-blockchain-conecta-aduanas-mercosul> . Acesso em: 22 fev. 2025

SILLABER, Christian; WALTL, Bernhard. **Life cycle of smart contracts in blockchain ecosystems**. Datenschutz und Datensicherheit-DuD, Berlim, v. 41, n. 8, p. 497-500, 2017.

SILVA, Clodoaldo Cristiano da. **Blockchain**: um estudo da descentralização da tecnologia da computação na quarta revolução industrial e seu impacto sócio-ambiental. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SILVA, L. G. P. da; RUFINO, H. L. P. Revisão sistemática sobre as vantagens e desafios no uso de realidade aumentada como ferramenta pedagógica no ensino médio. **Educação**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. e38/ 1–31, 2021. DOI: 10.5902/1984644442392. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reveduacao/article/view/42392>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SILVA, Pedro Coelho et al. **Manufatura aditiva: revisão sistemática da literatura**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 84502-84515, 2020.

SILVEIRA, Marcio; MARCOLIN, Carla Bonato; FREITAS, Henrique Mello Rodrigues. **Uso corporativo do Big Data**: uma revisão de literatura. Revista de Gestão e Projetos, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 44-59, 2015.

SOUSA, Flávio R. C.; MOREIRA, Leonardo O.; MACHADO, Javam C. **Computação em nuvem**: conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. In: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO CEARÁ, MARANHÃO E PIAUÍ, 2., 2010. Anais [...]. [s. l.]: ERCEMAPI, versão revisada, 2010.

STALLINGS, William. **Cryptography and network security**. 4. ed. Nova Delhi: Pearson Education India, 2006.

SUHR, Mario Henrique; GROSS, Rafael. **A personalização na Netflix**: sistemas de recomendação e interface. [s. l.], 2022.

SWAN, Melanie. **Blockchain**: Blueprint for a new economy. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015.

SZABO, Nick. **Winning strategies for smart contracts**. Foreword by Don Tapscott. *Blockchain Research Institute*, [s. l.], v. 4, 2017.

TAMANINI, Cleiton; WILTGEN, Filipe. **Manufatura aditiva e as mudanças na indústria automotiva**. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, Curitiba, v. 13, n. 32, p. 90-104, 2022.

TAMANINI, Cleiton; WILTGEN, Filipe. **Manufatura aditiva e as mudanças na indústria automotiva**. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, Curitiba, v. 13, n. 32, p. 90-104, 2022.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain revolution**: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world. Londres: Penguin, 2016.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez et al. **Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 28290-28309, 2019.

TITO, Lucas; MOTINHA, Cristina; SANTIAGO, Filipe; OCAÑA, Kary; BEDO, Marcos; DE OLIVEIRA, Daniel. Xi-DL: um Sistema de Gerência de Data Lake para Monitoramento de Dados da Saúde. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS (SBBDD), 35. , 2020, Evento Online. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020 . p. 151-156. ISSN 2763-8979. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbbd.2020.13633>.

URBANO, Wisley Borges. Análise comparativa de moedas digitais: DREX E TETHER (stablecoin). 2023. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

VIEIRA, Marcus André Alves Zimmermann; DA SILVA, Andrea Diniz. **Desafios e controvérsias no uso de big data em estatísticas oficiais**: há uma luz no fim do túnel. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 16, n. 8, p. 12382-12394, 2023.

ZHENG, Z.; XIE, S.; DAI, H. N.; CHEN, X.; WANG, H. **Blockchain challenges and opportunities**: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, v. 14, n. 4, p. 352-375, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095647>

ANEXO 1 – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS

Roteiro Entrevistas

1. Empresa/ Ramo de Atuação/ Região
2. Cargo/ Função na Empresa/ Formação Formal e Informal
3. Tempo de Experiência com a Tecnologia
4. Pedir para que ele discorra um pouco sobre esse percurso.

Para as tecnologias familiares. Perguntar:

7. Como se deu a experiência com a tecnologia X? O que buscava solucionar?
8. Quais foram os obstáculos enfrentados?
9. Como percebe que o blockchain pode contribuir com a solução para essas e outras deficiências ligadas à tecnologia X? Para além da sua experiência, que oportunidades identifica nesse sentido?

-
10. Especificamente no Brasil, o que considera como maiores entraves para a plena adoção do blockchain, em larga escala, no seu setor?
 11. Por outro lado, identifica vantagens e oportunidades que só o país oferece? Quais?
 12. Poderia mencionar casos de sucesso nacionais que conhece?
 13. Poderia apontar quais setores/indústrias que mais se beneficiariam com o blockchain no Brasil?
 14. Gostaria de adicionar algum ponto ou comentário não contemplado no escopo desse roteiro?

ANEXO 2 – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 14 de março de 2025.

Henrique Campos Lourenço
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

202049013
Matrícula

Henrique Campos Lourenço
ASSINATURA

142.720.966-99
CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.