

A TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* COMO FERRAMENTA PARA A RASTREABILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS DO LEITE

Autores

Erik Carlos Ferreira da Rocha¹

Rodrigo Oliveira da Silva²

Rebecca Impelizeri Moura da Silveira³

Resumo

Devido à extensão e o número de atores envolvidos em cadeias agroalimentares, a contaminação de alimentos pode se propagar rapidamente. Para atender aos requisitos de segurança, é crucial implementar sistemas eficientes de rastreabilidade nas cadeias agroalimentares, como a do leite e dos seus derivados, visando identificar produtos não adequados ao consumo. Criada em 2008 com o intuito de viabilizar transações financeiras sem a necessidade de uma instituição financeira, a tecnologia *blockchain* tem se destacado como uma ferramenta promissora para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos agroalimentares, permitindo que diversos participantes na rede acompanhem as informações com rapidez, segurança e transparência. Contudo, o emprego dessa tecnologia para este fim ainda está em estágios iniciais de desenvolvimento, com poucos casos de uso estabelecidos. Assim, a presente pesquisa apresenta os possíveis benefícios da utilização da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade para cada etapa das cadeias de suprimentos do leite. Também são apresentadas as possíveis implicações de seu uso para as cadeias de suprimento do leite nacionais, por fim, desafios técnicos e de governança também são comentados.

Palavras-chave: Cadeia de suprimentos. Cadeia agroalimentar. *Blockchain*. Rastreabilidade. Contratos inteligentes.

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AS A TOOL FOR TRACEABILITY IN DAIRY SUPPLY CHAINS

Abstract

Due to the extension and number of actors involved in agri-food chains, food contamination can spread quickly. To meet safety requirements, it is crucial to implement efficient traceability systems in agri-food chains, such as milk and dairy, in order to identify products that are not suitable for consumption. Created in 2008 with the aim of enabling financial transactions without the need for a financial institution, blockchain technology has stood out as a promising tool for traceability in agri-food supply chains, allowing various participants in the network to track information quickly and securely. However, the use of this technology in this scenario is still in the early stages of development, with few use cases established. Thus, this research presents the possible benefits of using blockchain technology as a tool for traceability for each stage of the dairy supply chains. The possible implications of its use for Brazilian dairy supply chains are also presented, finally, technical and governance challenges are also commented on.

Keywords: *Supply chain. Agri-food chain. Blockchain. Traceability. Smart contracts.*

¹Mestrado em Administração pela Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. E-mail: rocha.erik.cf@gmail.com

²Doutorado em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – IAG/ PUC-Rio e docente na Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. E-mail: roliveiradasilva@gmail.com

³Doutorado em Administração pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e docente na Universidade Federal de Viçosa – Campus Florestal – UFV. E-mail: rebecca.silveira@ufv.br

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, observa-se uma crescente necessidade da produção de alimentos, o que, por sua vez, acarreta desafios adicionais para as cadeias de abastecimento agroalimentares (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE [OMS], 2020). Devido à extensão dessas cadeias, frequentemente envolvendo diversos participantes de diferentes nações, a contaminação de alimentos em níveis locais pode se propagar rapidamente, alcançando dimensões globais (FUKUDA, 2015).

As cadeias de abastecimento de leite são caracterizadas por uma complexidade significativa, dado o envolvimento de diversos atores nos processos de transformação do produto até alcançar o consumidor final. Entre esses atores, incluem-se, por exemplo, os produtores de leite, as cooperativas, as unidades de processamento, os atacadistas e varejistas. Além da natureza altamente perecível do leite, sua cadeia abrange uma ampla gama de processos, cada um apresentando riscos diversos, tais como riscos biológicos, naturais, operacionais, institucionais, entre outros (DAUD; PUTRO; BASRI, 2015).

O incidente ocorrido na França, com a empresa Lactalis em 2018, ilustra as consequências da contaminação em uma cadeia de suprimento do leite, bactéria que, em casos raros, pode causar graves infecções e até a morte. Na ocasião, detectou-se a presença de Salmonella no leite em pó infantil produzido pela empresa. Para conter a disseminação, foi preciso retirar mais de 12 milhões de embalagens de produtos distribuídos em 83 países (WILLSHER, 2018). Os prejuízos oriundos de decisões desta natureza, obviamente, vão muito além dos relacionados ao descarte de produto final.

Para atender aos requisitos de segurança dos produtos, e evitar situações tão críticas que possam manchar a reputação de diversas empresas que compõem a rede, as cadeias de suprimentos de leite necessitam de sistemas de rastreabilidade eficazes, capazes de localizar de maneira rápida e precisa os produtos não conformes, especialmente quando representarem risco para a saúde dos consumidores (DABBENE; GAY; TORTIA, 2014).

Adicionalmente, a capacidade de coletar informações sobre os produtos ao longo de todo o seu percurso permite a detecção antecipada de problemas, promovendo maior transparência e resiliência em toda a cadeia de suprimentos. Nesse sentido, os sistemas de rastreabilidade desempenham um papel crucial na garantia da qualidade dos produtos entregues aos consumidores, especialmente quando combinados com sistemas de controle de qualidade (AUNG; CHANG, 2014).

Contudo, os sistemas tradicionais de rastreabilidade frequentemente sofrem de limitações na visibilidade, impossibilitando um acompanhamento abrangente das atividades ao longo da cadeia de suprimentos (KILPATRICK; BARTER, 2020). Diante desse desafio, diversas empresas têm buscado soluções na tecnologia *blockchain* como uma forma de superar essa deficiência (MCMAHON; CRONIN, 2016).

A tecnologia *blockchain* teve sua origem em 2008, com o surgimento do Bitcoin, e inicialmente visava facilitar transações financeiras digitais sem depender de instituições bancárias (ANTONOUPOLOS, 2016). No entanto, devido à sua característica de ser um livro razão distribuído e imutável, permitindo que diversos participantes na rede tenham acesso às informações, a tecnologia *blockchain* tem se destacado como uma ferramenta eficaz para a rastreabilidade nas cadeias de suprimentos (KSHETRI, 2018; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019).

Assim como em outras cadeias agroalimentares que atuam em escala global em busca de aprimorar a transparência de suas operações, a Nestlé, renomada empresa transnacional, estabeleceu em 2019 um plano para a implementação da tecnologia *blockchain* em suas operações de rastreabilidade do leite. Deste modo, possibilitou que dados coletados pelos participantes na cadeia de suprimentos do leite sejam registrados no *blockchain*, tornando-os acessíveis a qualquer interessado em monitorar a origem do leite (PIRUS, 2019). No mesmo período, a empresa Walmart, juntamente com outras gigantes do comércio de produtos alimentícios, se uniram no programa IBM *Food Trust*, uma solução modular para rastreabilidade de alimentos que se baseia no uso do *blockchain* visando um maior controle do que é comercializado para os clientes finais (SIGH; SHARMA, 2023).

Entretanto, semelhante ao cenário anterior, a implementação da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos ainda está em grande parte em fases experimentais (PERBOLI; MUSSO; ROSANO, 2018; CHANG; IAKOVOU; SHI, 2019). Assim, considerando os potenciais usos para a rastreabilidade nas cadeias de suprimentos do leite, essa pesquisa buscou compreender **quais os benefícios do emprego da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos do leite?**

Assim sendo, o propósito desse artigo consistiu em identificar e apresentar os benefícios associados à utilização da tecnologia *blockchain* como ferramenta para rastreabilidade nas cadeias de suprimentos do leite. Para alcançar o objetivo delineado, foram realizadas as seguintes etapas: 1) identificação das pesquisas presentes na literatura que abordaram o tema do emprego da tecnologia *blockchain* como instrumento de rastreabilidade nas cadeias de

suprimentos do leite, 2) apresentação dos possíveis benefícios decorrentes da implementação da tecnologia *blockchain* nas operações de rastreabilidade em cada estágio da cadeia de suprimentos do leite, e 3) investigação dos desafios associados à adoção da tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade nas cadeias de suprimentos do leite.

Portanto, almeja-se que esse trabalho contribua para orientar futuras pesquisas sobre o assunto e, ao mesmo tempo, forneça uma base sólida para gestores interessados na implementação da tecnologia *blockchain* nas cadeias de suprimentos do leite.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O *Blockchain*

A tecnologia *blockchain* foi concebida em 2008 com o surgimento do Bitcoin (NAKAMOTO, 2008). Seu criador, utilizando o pseudônimo Satoshi Nakamoto, tinha como objetivo resolver o desafio do gasto duplo, evitando que a mesma unidade de moeda digital fosse utilizada mais de uma vez. Dessa forma, buscava viabilizar transações monetárias digitais sem depender de uma autoridade “certificadora”, tradicionalmente as instituições financeiras (ANTONOUPOLOS, 2016).

Nessa rede, os blocos agrupam as transações e, em seguida, são encadeados em uma ordem sequencial, formando o que é conhecido como a cadeia de blocos (daí o nome dessa tecnologia, *block* = bloco, *chain* = cadeia). Posteriormente, essa cadeia de blocos é compartilhada entre os participantes da rede, e por meio de um algoritmo de consenso, esses participantes conseguem verificar a validade das informações distribuídas, eliminando a necessidade de uma terceira parte certificadora (ANTONOUPOLOS, 2016; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019).

Os algoritmos de consenso podem ser categorizados em dois tipos: os sistemas de consenso cripto-econômicos, utilizados em criptomoedas, e aqueles não baseados em criptomoedas (GAUR et al., 2018; WÜST; GERVAIS, 2018; LYONS; COURCELAS, 2020). O modelo cripto-econômico, normalmente empregado em redes não permissionadas (públicas), é mais conhecido pelo consenso de Prova de Trabalho (*Proof-of-Work* ou *PoW* em inglês), implementado pelo Bitcoin (ANTONOUPOULOS, 2016).

A Prova de Trabalho envolve os computadores da rede tentando resolver um desafio criptográfico que só pode ser superado por meio de tentativa e erro. Após a resolução bem-sucedida desse desafio, o nó que completou a tarefa é recompensado financeiramente pelo esforço computacional, processo conhecido como mineração (ANTONOUPOULOS, 2016; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019).

Contudo, o mecanismo de consenso por Prova de Trabalho é tipicamente lento (HUGHES et al., 2019) e apresenta um alto custo energético, refletindo o esforço computacional necessário para resolver a tarefa (O'LEARY, 2017; COLE; STEVENSON; AITKEN, 2019). Portanto, empresas que buscam implementar a tecnologia *blockchain* em seus negócios frequentemente optam por mecanismos de consenso não baseados em criptomoedas, especialmente em redes permissionadas, devido a considerações de custo e aos desafios associados à governança da informação compartilhada (O'LEARY, 2017; GAUR et al., 2018; LYONS; COURCELAS, 2020).

Outro aspecto crucial é que, uma vez que um bloco é inserido na cadeia, a informação contida na cadeia de blocos não pode ser alterada sem o consenso da rede (ANTONOPOULOS, 2016; FURLONGER; UZUREAU, 2019; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019), proporcionando maior segurança às informações compartilhadas (GAUR et al., 2018; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019). Essa segurança decorre do arranjo da informação criptografada, pois qualquer modificação em uma transação de um dos blocos resulta na desconexão de todos os outros blocos derivados da cadeia (ANTONOPOULOS, 2016; GAUR et al., 2018).

Os contratos inteligentes, outra inovação proporcionada pela tecnologia *blockchain*, originam-se da criptomoeda Ethereum, criada em 2015 (GAUR et al., 2018; FURLONGER; UZUREAU, 2019; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019). Concebido na década de 90 por Nick Szabo (SZABO, 1994; FURLONGER; UZUREAU, 2019), esse conceito envolve a programação dos termos de um contrato de forma que ele seja autoexecutável, dispensando a necessidade de um intermediário (HILEMAN; RAUCHS, 2017; FURLONGER; UZUREAU, 2019). Esse método proporciona benefícios em agilidade, redução de custos e confiabilidade (VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019).

Dessa forma, o *blockchain* atua como um livro razão distribuído e imutável, permitindo o acompanhamento do histórico completo de transações até sua origem. Em conjunto com os contratos inteligentes, as propriedades disruptivas dessa tecnologia têm despertado o interesse de empresas para utilizá-la como uma ferramenta de rastreabilidade em suas cadeias de suprimentos, conforme apresentado no tópico a seguir.

2.2 Utilização da Tecnologia *Blockchain* em Cadeias de Suprimentos

A complexidade das modernas cadeias de suprimentos é crescente, em grande parte devido à globalização e à busca por eficiência. O aumento na extensão dessas cadeias, com o

acréscimo no número de participantes, o incremento nos custos logísticos, entre outros fatores (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2010), contribui para elevar as incertezas, tornando-as suscetíveis a rupturas e outros riscos (IVANOV; DOLGUI; SOKOLOV, 2019; GUNASEKARAN; SUBRAMANIAN; RAHMAN, 2015).

Visando garantir a segurança das cadeias de suprimentos e promover ganhos em qualidade, eficiência e transparência, os sistemas de rastreabilidade têm sido cada vez mais preconizados por governos, órgãos de controle e adotados por empresas (GS1, 2017). Conforme definido pela norma ISO 22000:2018 (INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION [ISO], 2018, p. 8, tradução nossa), a rastreabilidade refere-se à "capacidade de seguir o histórico, pedido, movimento e localização de um objeto por meio de estágios específicos de produção, processamento e distribuição".

O acesso a essas informações ao longo da cadeia de suprimentos aprimora o processo de tomada de decisão, aumentando a precisão das análises e a velocidade de resposta diante de possíveis desafios (GS1, 2017).

Contudo, nos sistemas convencionais, frequentemente, são rastreadas apenas as informações dos participantes imediatos com quem a empresa mantém negociações, o que limita a visibilidade dos membros e torna essas cadeias mais vulneráveis (KILPATRICK; BARTER, 2020).

Com o intuito de mitigar essa deficiência, a tecnologia *blockchain* tem atraído a atenção de empresas devido às suas propriedades, que possibilitam ganhos em transparência e visibilidade da informação entre os participantes das cadeias de suprimentos. Essa atratividade é amplificada pela sinergia com os sensores da Internet das Coisas (*IoT*, do termo *Internet of Things* em inglês) (KSHETRI, 2017; HUGHES et al., 2019). Além disso, a tecnologia *blockchain* oferece a capacidade de validação e automatização de processos por meio do uso de contratos inteligentes (HILEMAN; RAUCHS, 2017; FURLONGER; UZUREAU, 2019; VYAS; BEIJE; KRISHNAMACHARI, 2019).

Dessa forma, o *blockchain* tem possibilitado a obtenção confiável de informações sobre o quê, como são, quanto, onde e de quem são os produtos (SABERI et al., 2019), em diversas cadeias de suprimentos, incluindo as cadeias de suprimentos de alimentos, conforme apresentado a seguir.

2.3 Utilização da Tecnologia *Blockchain* em Cadeias de Suprimentos de Alimentos

A tecnologia *blockchain* tem encontrado aplicação em diversas cadeias de suprimentos, abrangendo setores como o transporte de carga marítimo (KSHETRI, 2018), a indústria de diamantes (WÜST; GERVAIS, 2018; KSHETRI, 2018) e os segmentos de medicamentos e equipamentos médicos (BOCEK et al., 2017; MACKEY; NAYYAR, 2017).

A partir de 2016, estudos favoráveis à adoção da tecnologia *blockchain* nas cadeias de suprimentos de alimentos também têm ganhado destaque na literatura (CASINO; DASAKLIS; PATSAKIS, 2018; GALVEZ; MEJUTO; SIMAL-GANDARA, 2018; PERBOLI et al., 2018; AL-JAROODI; MOHAMED, 2019; TSANG et al., 2019; KAMBLE; GUNASEKARAN; SHARMA, 2020). Exemplificando, grandes redes de supermercados como o Walmart (KSHETRI, 2018) e o Carrefour (CHANG et al., 2019) têm adotado a tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade de produtos alimentícios. Kshetri (2018) destaca como essa tecnologia tem agilizado a identificação de alimentos contaminados e reduzido operações de *recall* devido à maior precisão da ferramenta.

Outros trabalhos na literatura apresentam sistemas como o BigChainDB de Tian (2017), AgriBlockIoT de Caro et al. (2018) e o ProductChain de Malik, Kanhere e Jurdak (2018). Esses sistemas combinam a tecnologia *blockchain* e sensores ao longo da cadeia de suprimentos, com o objetivo de permitir o compartilhamento de informações que possibilitem rastrear os alimentos da fazenda até o garfo (*farm-to-fork*).

No mesmo contexto, Bumblauskas et al. (2020) implementaram a tecnologia *blockchain* em uma cadeia de suprimentos de ovos, buscando aumentar a transparência das informações fornecidas ao consumidor, facilitando a consulta dessas informações por meio de um código QR usando um *smartphone*.

Adotando a proposta de eliminar intermediários nas cadeias de suprimentos de soja, Salah et al. (2019) propõem a utilização do *blockchain* Ethereum e contratos inteligentes para facilitar a distribuição de informações sobre os grãos. Essa abordagem visa tornar essas informações facilmente auditáveis e imutáveis, eliminando a necessidade de intermediários.

Buscando otimizar a segurança nas cadeias de suprimentos alimentares, o trabalho de Tian (2016) demonstra como o uso da tecnologia *blockchain* pode permitir que órgãos governamentais e entidades reguladoras participem como nós na cadeia de suprimentos. Essa descentralização da informação facilita a certificação e reduz a presença de produtos falsificados ou de baixa qualidade.

Esses estudos ressaltam o potencial da aplicação da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos de alimentos, destacando a importância de compreender como ela vem sendo utilizada nas cadeias de suprimentos do leite.

3 METODOLOGIA

Esse é um estudo teórico de caráter exploratório e viés qualitativo. Portanto, baseado na teoria se pressupõem os potenciais benefícios ao se empregar a tecnologia *blockchain* para cada etapa da cadeia de suprimentos do leite. Para tal, foi necessário identificar estudos que abordassem o uso da tecnologia *blockchain* como ferramenta de rastreabilidade em cadeias de suprimentos de leite. Para alcançar esse objetivo, foram escolhidas três bases de dados: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*.

Para identificar os trabalhos sobre o emprego da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos do leite, foram utilizadas as seguintes palavras-chave nos motores de busca das bases selecionadas: ("*blockchain*" OR "*shared ledger*" OR "*distributed ledger*") AND "*supply chain*" AND "*dairy*" AND "*traceability*". As pesquisas foram conduzidas nos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos presentes em cada uma das três bases de dados. Foi aplicado um filtro para retornar apenas artigos.

Assim, após as pesquisas realizadas em janeiro de 2024, a extração de todos os artigos das três bases de dados resultou no que é apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 – Trabalhos identificados por base de dados

Base de dados	Número de trabalhos
<i>Science Direct</i>	4
<i>Scopus</i>	11
<i>Web of Science</i>	11

Fonte: Elaborado pelos autores.

As bases de dados *Scopus* e *Web of Science* identificaram o maior número de trabalhos sobre o assunto, trazendo onze pesquisas, enquanto o *Science Direct* retornou outras quatro pesquisas. No entanto, ao realizar uma verificação dos resultados, constatou-se que dos 26 trabalhos inicialmente identificados, onze eram repetidos, resultando em apenas 15 pesquisas para análise. Devido ao número limitado de pesquisas, a pesquisa foi estendida para o *Google Scholar* (Google Acadêmico). Utilizando as mesmas palavras-chave das buscas anteriores, foi possível identificar mais quatro trabalhos, totalizando 19 pesquisas.

O próximo passo consistiu em filtrar esses trabalhos para verificar se estavam alinhados com a proposta desse artigo. Para isso, foi realizada uma adaptação da metodologia utilizada por Casino et al. (2018), sendo os parâmetros estabelecidos apresentados no Quadro 2.

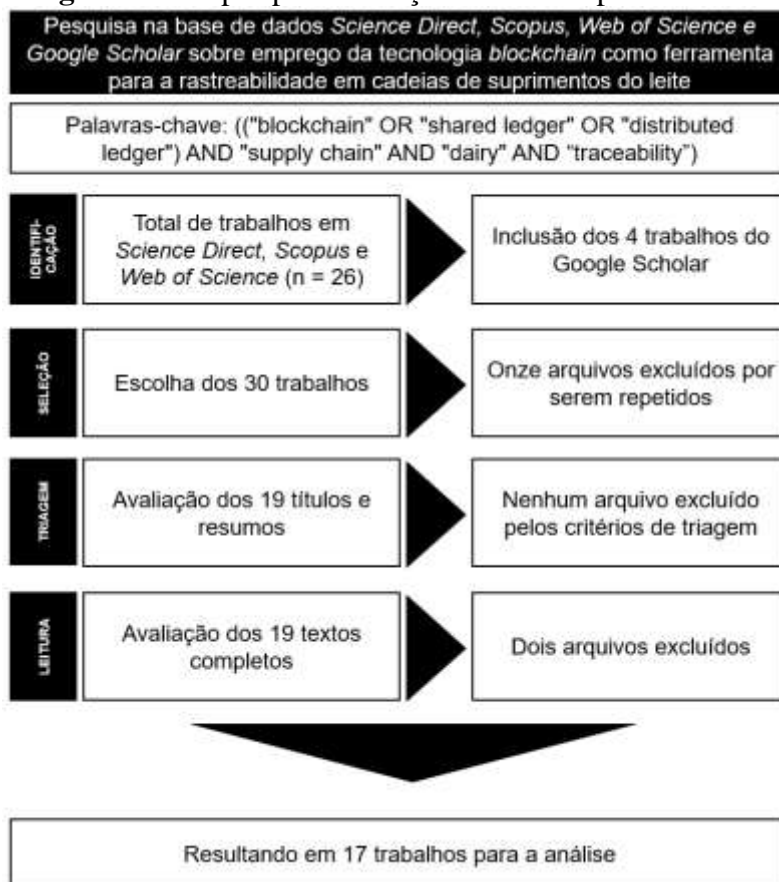
Quadro 2 - Etapas para a seleção dos artigos

Etapa	Procedimento
Seleção	Seleção das pesquisas identificadas nas bases <i>Science Direct</i> , <i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> e <i>Google Scholar</i> , a partir das palavras-chave e remoção dos trabalhos repetidos.
Triagem dos títulos	Eliminação das pesquisas em que os títulos estivessem voltados para finanças, criptomoedas, ou outras propriedades que não fossem a rastreabilidade.
Triagem dos resumos	Exclusão dos trabalhos em que os resumos não estavam direcionados para o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> como ferramenta de rastreabilidade em cadeias de suprimentos do leite.
Leitura dos textos	Remoção de textos exclusivamente técnicos, ou seja, que não apresentassem aspectos de gestão propiciados pela ferramenta <i>blockchain</i> no rastreamento de produtos lácteos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao término desse processo, apenas dois dos 19 trabalhos foram descartados, pois, embora abordassem a tecnologia *blockchain* como ferramenta em cadeias de suprimentos, não se concentravam especificamente em cadeias de suprimentos do leite. A Figura 1, apresentada a seguir, resume todo o processo.

Figura 1 – Etapas para a seleção dos textos para a análise



Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos 17 textos foi feita tendo como base a análise de conteúdo de Bardin (2016). A análise de conteúdo “é considerada uma técnica para o tratamento de dados que visa

identificar o que se está sendo dito a respeito de um determinado tema” (VERGARA, 2005, p. 15), através de “procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não)” (BARDIN, 2016, p. 48).

Assim, procedeu-se à codificação dos diferentes textos e à sua categorização de acordo com os temas provenientes do referencial teórico. A partir dessa categorização, foi possível refletir sobre os temas e apresentar os possíveis benefícios e desafios com o emprego da tecnologia *blockchain* em cada etapa da cadeia de suprimentos do leite, conforme apresentado na seção de Discussão.

4 RESULTADOS

A coleta dos trabalhos nas bases de dados revelou o baixo número de pesquisas relacionadas à utilização da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite. Um ponto relevante é a recenticidade dessas pesquisas, sendo que o trabalho mais antigo identificado data de 2018.

A seguir, apresenta-se um breve resumo sobre os artigos. Devido aos diferentes tipos de trabalhos, optou-se por organizá-los de acordo com o método de classificação utilizado por Wang, Han & Beynon-Davies (2019), que divide os trabalhos em descritivos, conceituais, preditivos e prescritivos. Dentre esses, foram encontrados três tipos.

O primeiro grupo inclui os trabalhos descritivos (Quadro 3), cujo objetivo é relatar o emprego da tecnologia *blockchain* nas cadeias de suprimentos do leite.

Quadro 3 - Trabalhos descritivos sobre a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite

Autores	Pontos-chave
Casino et al. (2020)	Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade para a cadeia de suprimentos de alimentos com o uso da tecnologia <i>blockchain</i> . Implementação em um laticínio na Grécia. Três tipos de contratos inteligentes são programados para determinar a interação entre os <i>stakeholders</i> , processos e produtos.
Giacalone et al. (2021)	Implementação de um sistema que une a tecnologia <i>blockchain</i> , <i>IoT</i> e <i>Big Data</i> em um laticínio na Itália. Os dados podem ser acessados pelos operadores da cadeia de suprimentos e auditores visando certificar os processos para garantir a denominação de origem dos produtos.
Khanna et al. (2022)	Desenvolvimento de uma plataforma <i>blockchain</i> e diferentes estudos de casos na Índia para avaliar sua utilização. Benefícios sociais, econômicos, operacionais e de sustentabilidade são percebidos.
Varavallo et al. (2022)	Desenvolvimento de uma arquitetura <i>blockchain</i> de baixo consumo energético para a rastreabilidade de queijos italianos de ponta-a-ponta na cadeia.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses trabalhos basearam-se na observação de casos reais de implementação da tecnologia *blockchain*. No entanto, devido ao quão recente é o emprego da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos, sua utilização ainda se encontra em fases experimentais.

Foram reunidos, também, os trabalhos preditivos (Quadro 4), nos quais procuravam explorar como a tecnologia *blockchain* pode ser implementada em cadeias de suprimentos do leite.

Quadro 4 - Trabalhos preditivos sobre a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite

Autores	Pontos-chave
Akram et al. (2023)	Entrevistas com executivos para avaliar o impacto do <i>blockchain</i> na cadeia de abastecimento alimentar da China durante a COVID-19. Destacam a importância dessa tecnologia na segurança e rastreabilidade nas cadeias de suprimento do leite.
Kumar & Kumar (2023)	Estudo com profissionais indianos sobre os possíveis impactos da utilização da tecnologia <i>blockchain</i> na distribuição de informação, manufatura, gestão de inventário e gestão de distribuição.
Mangla et al. (2021)	Avaliam, a partir do contato com especialistas da maior cooperativa de leite da Turquia, os benefícios para a rastreabilidade com o uso da tecnologia <i>blockchain</i> , como a redução de fraudes com a coleta dos dados relativos às condições do gado e dos testes físico-químicos do leite, na identificação das condições necessárias para a melhoria do bem-estar animal, entre outros.
Makkar & Costa (2020)	Apresentam os benefícios do emprego da tecnologia <i>blockchain</i> na pecuária. Como na proveniência de rações e vacinas que impactam diretamente no bem-estar animal e na eficiência da cadeia do leite.
Shingh et al. (2020)	Comentam sobre as vantagens de se utilizar a tecnologia <i>blockchain</i> para cada participante presente nas cadeias de suprimentos de leite.
Tan & Ngan (2020)	Defendem o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias do leite no Vietnã. Apresentam uma avaliação dos benefícios em cada etapa cadeia, da fazenda até o consumidor final.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses trabalhos foram realizados por meio de pesquisas exploratórias, envolvendo entrevistas com gestores presentes nas cadeias de suprimentos do leite ou revisões teóricas sobre o assunto.

Por fim, os trabalhos prescritivos (Quadro 5) estudaram a tecnologia *blockchain*, buscando apontar qual seria a melhor utilização da tecnologia em cadeias de suprimentos do leite.

Quadro 5 - Trabalhos prescritivos sobre a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite

Autores	Pontos-chave
Alshehri (2023)	Propõe uma infraestrutura que reúne <i>blockchain</i> e <i>IoT</i> , permitindo o gerenciamento ecológico e sustentável da pecuária com foco em vigilância, controle e padrões de bem-estar.
Behnke & Janssen (2020)	Considerações sobre a importância da definição de aspectos relacionados com o compartilhamento das informações entre os diferentes negócios que venham a fazer uso da tecnologia <i>blockchain</i> a partir do estudo de empresas presentes em cadeias de suprimentos do leite.
Holmberg & Åquist (2018)	Realizaram um estudo de caso em uma cadeia do leite na Suécia. Desenvolveram um modelo para o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> que complementa o sistema tradicional.
Kasten (2019)	Debate sobre a utilização do <i>blockchain</i> para evitar a adulteração das análises laboratoriais e otimizar a fiscalização por órgãos reguladores.
Lavelli & Beccalli (2022)	Desenvolvimento de um <i>framework</i> para o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> para otimizar a rastreabilidade possibilitando a reciclagem de soro proveniente da produção de queijo.
Longo, Nicoletti & Padovano (2020)	Impactos da utilização do <i>blockchain</i> nos custos das transações ao longo da cadeia de suprimentos do leite. Constatam que os impactos nos custos das transações aumentam a jusante na cadeia de suprimentos (assim como o interesse em ferramentas para a rastreabilidade). No entanto, percebem que esses custos não têm muito impacto no preço do produto.
Wang et al. (2020)	Propõem uma estrutura para a rastreabilidade descentralizada em cadeias do leite com o uso da tecnologia <i>blockchain</i> . Permitem que as autoridades reguladoras façam parte do sistema monitorando as informações, garantindo credibilidade e segurança aos produtos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Muitos desses trabalhos evidenciam possíveis soluções para os desafios de se utilizar uma tecnologia ainda em desenvolvimento. Portanto, são apresentadas propostas para o compartilhamento de informações, redução dos custos das transações de rastreabilidade via *blockchain*, além de *frameworks* de aplicações voltados para a resolução de desafios em cadeias de suprimentos do leite convencionais. É importante ressaltar que, entre os artigos consultados, não foi incomum a possibilidade de um artigo pertencer a mais de uma categoria.

5 DISCUSSÃO

5.1 Rastreabilidade nas Cadeias de Suprimentos do Leite com o Uso da Tecnologia *Blockchain*

A otimização do compartilhamento da informação com o emprego da tecnologia *blockchain* promove transparência entre os vários participantes da rede tornando-o uma importante ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos do leite. (BEHNKE; JANSSEN, 2020; SHINGH, et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; MANGLA et al., 2021; LAVELLI; BECCALLI, 2022; VARAVALLO et al., 2022).

Assim, torna-se possível benefícios com o uso do *blockchain* para aprimorar a rastreabilidade de informações do manejo do gado na fazenda (MAKKAR; COSTA, 2020),

entre os estágios da cadeia do leite entre a fazenda até a unidade de processamento (MANGLA et al., 2021), no tratamento das operações das unidades de processamento (Casino et al., 2020; GIACALONE et al., 2021), das análises laboratoriais do leite (KASTEN, 2019), assim como, abrangendo a cadeia do leite como um todo (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; SHINGH, et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; WANG et al., 2020).

De maneira geral, preconiza-se a coleta de dados, geralmente realizada por meio de *IoT* ou códigos de barras, pelos participantes registrados no sistema. As informações capturadas em cada fase, como dados sobre o gado leiteiro no momento da coleta, do transporte e recebimento do leite nas unidades de processamento, do processo de transformação, do transporte até os centros de distribuição, pontos de venda, entre outros, são incorporadas ao *blockchain* (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; TAN; NGAN, 2020; WANG et al., 2020).

Contratos inteligentes têm a capacidade de serem programados para validar a precisão dos dados provenientes de sensores, como a temperatura registrada durante o transporte, e desempenham a função de automatizar transações, como as operações de recebimento de produtos. (CASINO et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; KHANNA et al., 2022).

Posteriormente, o *blockchain*, que armazena as informações coletadas, é distribuído entre os participantes registrados na cadeia de suprimentos do leite. Esses participantes podem incluir autoridades reguladoras responsáveis pela certificação de todas as informações (WANG et al., 2020). Com o compartilhamento das informações, adiciona-se visibilidade às operações de rastreabilidade de ponta a ponta da cadeia do leite. (TAN; NGAN, 2020; WANG et al., 2020; MANGLA et al., 2021).

Como destacado, a informação descentralizada possibilita o acompanhamento dos distintos estágios da cadeia produtiva, desde a fazenda até o consumidor final, possibilitando o rastreamento completo dos produtos na cadeia de suprimentos do leite. (CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; KHANNA et al., 2022; VARAVALLO et al., 2022; AKRAM et al., 2023), otimizando a tomada de decisão dos gestores (MANGLA et al., 2021) e garantindo mais segurança aos consumidores (LONGO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; WANG et al., 2020).

Além disso, a automatização facilitada pelos contratos inteligentes e a integração eficiente com os sensores *IoT* aceleram os processos, provocam redução da “papelada” (CASINO et al., 2020), diminuem a necessidade de intervenção humana, o que resulta na minimização de erros (TAN; NGAN, 2020) e, por conseguinte, na redução de custos (CASINO et al., 2020).

Com base nos benefícios apresentados, também foi possível reconhecer as vantagens da aplicação da tecnologia *blockchain* em cada fase da cadeia de suprimentos do leite, conforme apresentado a seguir.

5.2 Benefícios nas Fazendas com a Utilização da Tecnologia *Blockchain*

Para os produtores de leite, a implementação da tecnologia *blockchain* pode oferecer suporte na rastreabilidade e gestão dos insumos utilizados no manejo do gado, como rações, vacinas, medicamentos, entre outros. (MAKKAR; COSTA, 2020). Essas iniciativas têm o potencial de impactar diretamente na saúde e bem-estar dos animais, refletindo, por conseguinte, na qualidade do leite (SHINGH et al., 2020; MANGLA et al., 2021; ALSHEHRI, 2023).

Se os produtores participam de cooperativas, a informação distribuída também pode ajudar no planejamento da aquisição de insumos em condições de mercado mais favoráveis, além de facilitar a orientação para aprimoramentos em seus processos (MANGLA et al., 2021).

Além disso, a importância da adoção da tecnologia *blockchain* reside no compartilhamento de informações sobre o leite entre os diversos participantes. A apresentação confiável de dados, como a saúde do gado, data da coleta, local, volume de leite recolhido, entre outros, eleva a confiabilidade do produto e diminui a probabilidade de ocorrência de fraudes. (TAN; NGAN, 2020; MANGLA et al., 2021).

Segundo Giacalone et al. (2021), essas informações podem ser compartilhadas por meio de um aplicativo e acessadas utilizando um smartphone, possibilitando a avaliação da conformidade dos processos, bem como a consulta a auditorias realizadas anteriormente.

Além disso, ao empregar contratos inteligentes, é viável implementar um processo de pagamento automatizado quando certos parâmetros predefinidos de qualidade do leite são atingidos (TAN; NGAN, 2020; LAVELLI; BECCALLI, 2022).

5.3 Benefícios nas Usinas de Beneficiamento de Leite e Laticínios com a Utilização da Tecnologia *Blockchain*

Os benefícios para a indústria com a adoção do *blockchain* incluem a otimização da rastreabilidade do leite desde a fazenda, o que reduz a possibilidade de fraudes (TAN; NGAN, 2020). Nesse contexto, o fornecimento de informações precisas e transparentes sobre o leite motiva os produtores a entregar um produto de melhor qualidade às unidades de processamento, resultando em uma produção com maior rendimento e qualidade.

Também é possível programar contratos inteligentes para automatizar as transações entre a indústria e os demais participantes da cadeia do leite, assim como para o controle das operações de processamento do leite (CASINO et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; KHANNA et al., 2022), o que reduz os custos com a automatização de processos e identifica erros antes que se propaguem pela cadeia do leite.

Adicionalmente, as informações referentes às etapas de produção do leite e seus derivados podem ser registradas no *blockchain*, simplificando a identificação do produto (TAN; NGAN, 2020; KHANNA et al., 2022) e desempenhando um papel crucial na detecção de possíveis contaminações, bem como auxiliando nas operações de *recall* (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020).

Nesse mesmo contexto, fornecer informações confiáveis sobre a origem dos ingredientes em seus produtos pode ser um diferencial para as empresas de laticínios em seu relacionamento com os consumidores (CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020).

5.4 Benefícios no Transporte e Distribuição com a Utilização da Tecnologia *Blockchain*

No que diz respeito ao transporte e distribuição do leite e seus derivados, a adoção da tecnologia *blockchain* se integra de maneira harmoniosa com os sensores da Internet das Coisas. Os sensores instalados nos veículos extraem informações como localização, temperatura, entre outras, relacionadas ao leite cru desde o transporte até as unidades de processamento, e adicionam esses dados ao *blockchain* (TAN; NGAN, 2020; MANGLA et al., 2021). Da mesma forma, os sensores possibilitam o acompanhamento das informações dos produtos acabados até os centros de distribuição ou pontos de venda (SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020).

Uma vez mais, os contratos inteligentes podem ser programados para gerar alertas ao identificar condições fora do padrão. Os funcionários nos centros de distribuição, ao receberem a mercadoria, podem verificar se as informações registradas no *blockchain* sobre os produtos lácteos recebidos estão em conformidade com o transporte e, então, direcionar o pagamento para as indústrias (TAN; NGAN, 2020).

5.5 Benefícios nos Atacados e Varejos com a Utilização da Tecnologia *Blockchain*

Os benefícios derivados da aplicação da tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade residem na otimização da visualização de informações entre indústrias, atacados e varejistas. Conforme comentado no capítulo 5.3, isso se traduz diretamente na identificação eficiente de

produtos contaminados e na agilidade das operações de *recall* (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; KUMAR; KUMAR, 2023).

Além disso, outros ganhos são observados no aprimoramento da capacidade de acompanhar as informações provenientes da cadeia de suprimentos do leite, resultando em uma melhoria na precisão das previsões de mercado por parte de atacadistas e varejistas. Isso beneficia as estratégias de gestão de estoques e impulsiona as operações de vendas nesses setores de negócios (TAN; NGAN, 2020).

5.6 Benefícios para Outros Participantes da Cadeia do Leite com a Utilização da Tecnologia *Blockchain*

A tecnologia *blockchain* possui o potencial de atender à crescente demanda dos consumidores e governos por informações detalhadas sobre a origem dos produtos. As pesquisas indicam a viabilidade de acessar todo o histórico em tempo real de um produto registrado na cadeia de blocos, fornecendo dados sobre a trajetória do leite ou de seus derivados, os ingredientes presentes em suas fórmulas, bem como informações sobre quando e onde foi fabricado, entre outros aspectos (VARAVALLO et al., 2022; ALSHEHRI, 2023). Essas informações podem ser prontamente acessadas pelos consumidores por meio de *smartphones*, utilizando códigos QR incorporados aos produtos lácteos (CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; VARAVALLO et al., 2022).

Além disso, graças às características inerentes da tecnologia *blockchain*, que incluem ser um livro razão imutável e distribuído, ela proporciona credibilidade e segurança aos consumidores. Isso garante que os produtos adquiridos estejam em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos e que não tenham sido falsificados (LONGO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; VARAVALLO et al., 2022; KUMAR; KUMAR, 2023).

Outro ponto é a possibilidade de órgãos reguladores e agências de certificação integrarem-se como nós na rede distribuída do *blockchain* (SHINGH et al., 2020; WANG et al., 2020). Isso viabiliza o acompanhamento dessas organizações às informações e a verificação dos processos ao longo da cadeia de suprimentos. Ao fazerem parte da rede, essas entidades agilizam o rastreamento de produtos defeituosos e contaminações (CASINO et al., 2020; WANG et al., 2020).

Por fim, destaca-se o uso da tecnologia *blockchain* para permitir que as agências reguladoras acompanhem as informações dos testes analíticos do leite realizados pelos laboratórios. A proposta visa inibir a adulteração das informações das análises dos produtos lácteos, uma vez que, com o *blockchain*, essas informações não podem ser modificadas sem o

consentimento de todas as partes interessadas, o que dificulta a ocorrência de fraudes (KASTEN, 2019).

Tendo como base o que foi apresentado até esse ponto da discussão o quadro 6 que possibilita reunir quais os benefícios do emprego da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos do leite pôde ser desenvolvido.

Quadro 6 – Benefícios da utilização da tecnologia *blockchain* em cada etapa da cadeia de suprimentos do leite

Etapa da cadeia de suprimentos do leite	Benefícios	Referências
Fazendas	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreabilidade de insumos; • Melhoria na gestão do gado; • Cooperação entre produtores para aquisição de insumos; • Pagamento automatizado pela qualidade do leite. 	MAKKAR; COSTA, 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; GIACALONE et al. 2021; MANGLA et al., 2021; LAVELLI; BECCALLI, 2022; ALSHEHRI, 2023
Usinas de beneficiamento e laticínios	<ul style="list-style-type: none"> • Aprimoramento da rastreabilidade do leite; • Registro preciso das etapas de produção; • Facilita a identificação de produtos, contribuindo para a detecção de contaminações; • Fortalecimento da relação das empresas com os consumidores ao fornecer informações confiáveis sobre a origem dos ingredientes. 	HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; KHANNA et al., 2022
Transporte e distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Em conjunto com sensores da Internet das Coisas permite a monitoração de informações cruciais, como localização e temperatura; • Contratos inteligentes podem gerar alertas em caso de condições anormais; • Validação das informações registradas no <i>blockchain</i> para efetuar pagamentos às indústrias. 	SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; MANGLA et al., 2021;

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 6 – Benefícios da utilização da tecnologia *blockchain* em cada etapa da cadeia de suprimentos do leite (continua)

Atacados e varejos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação rápida de produtos contaminados e agilidade em operações de <i>recall</i>. • Aprimoramento da precisão das previsões de mercado para atacadistas e varejistas, beneficiando as estratégias de gestão de estoques e impulsionando as operações de vendas. 	HOLMBERG; ÅQUIST, 2018; CASINO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; KUMAR; KUMAR, 2023.
--------------------	---	--

Quadro 6 – Benefícios da utilização da tecnologia *blockchain* em cada etapa da cadeia de suprimentos do leite (conclusão)

Outros atores	<ul style="list-style-type: none"> • Permite acesso em tempo real a todo o histórico, ingredientes, data e local de fabricação. Acessíveis aos consumidores por meio de códigos QR; • Permite a integração de órgãos reguladores na rede facilitando a verificação da conformidade das informações; • Garante a integridade das informações dos testes analíticos do leite, inibindo fraudes. 	KASTEN, 2019; CASINO et al., 2020; LONGO et al., 2020; SHINGH et al., 2020; TAN; NGAN, 2020; WANG et al., 2020; VARAVALLO et al., 2022; ALSHEHRI, 2023; KUMAR; KUMAR, 2023.
---------------	--	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

No entanto, devido ao quão recente e experimental é o emprego da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite, existem alguns desafios que devem ser mencionados, conforme apresentados a seguir.

5.7 Desafios na Utilização da Tecnologia *Blockchain* em Cadeias de Suprimentos do Leite

Importante ressaltar os desafios da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite, estes desafios podem ser divididos em duas categorias: desafios técnicos e desafios de governança. Os desafios técnicos incluem questões relacionadas à interoperabilidade da tecnologia *blockchain* com outros sistemas convencionais (AKRAM et al, 2023) e preocupações sobre a escalabilidade da mesma (LONGO et al., 2020; KHANNA et al., 2022), ou seja, garantir que ela mantenha o desempenho à medida que o número de participantes na rede aumenta (HILEMAN; RAUCHS, 2017).

No último caso, o desafio reside em manter o desempenho diante do considerável volume de transações por segundo exigido em uma cadeia de suprimentos do leite, especialmente se houver a utilização de sensores *IoT* na coleta de dados em diferentes estágios da cadeia (LONGO et al., 2020; KHANNA et al., 2022). Contudo, essa situação é mais comum em *blockchains* públicos e pode ser superada com a adoção de *blockchains* permissionados ou a implementação de modelos híbridos, que combinam as características de ambos (CASINO et al., 2020).

No entanto, o desafio mais proeminente nos estudos está vinculado aos modelos de governança. Há uma dificuldade no emprego da tecnologia *blockchain* para se adequar aos requisitos regulatórios a que as cadeias de suprimentos do leite estão sujeitas (BEHNKE; JANSSEN, 2020; MAKKAR; COSTA, 2020; KHANNA et al., 2022; AKRAM et al, 2023).

Além da complexidade em determinar quais dados devem ser compartilhados e para quem (BEHNKE; JANSSEN, 2020; KHANNA et al., 2022), também há resistência entre os diversos participantes em compartilhar informações específicas, devido ao receio de expor segredos comerciais (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018).

Portanto, o desafio reside em encontrar um equilíbrio entre o compartilhamento integral das informações e a limitação do compartilhamento em um grau necessário para a eficiência da tecnologia (BEHNKE; JANSSEN, 2020). Isso requer o desenvolvimento de uma cultura de colaboração entre os participantes da cadeia de suprimentos do leite (HOLMBERG; ÅQUIST, 2018), permitindo que a tecnologia *blockchain* ofereça o nível de transparência necessário para rastrear o leite e seus derivados ao longo de toda a cadeia.

6 QUESTÕES E DESAFIOS EM ABERTO

Neste segmento, enfatiza-se as questões e os desafios em certas áreas de aplicação da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite nacionais, tais como a rastreabilidade, certificação, distribuição de informações e desafios técnicos.

6.1 Possíveis Implicações da Utilização da Tecnologia *Blockchain* em Cadeias de Suprimentos do Leite no Brasil

Rastreabilidade: O Brasil ocupa a posição de quarto maior produtor global de leite, e o aumento na produção e consumo de seus diversos derivados destaca a importância econômica significativa dessa atividade para o país¹.

Contudo, deficiências estruturais, logísticas, produtivas, entre outras, são identificadas em toda a extensão das cadeias de suprimentos de leite brasileiras². Diante desse cenário, ao tornar o fluxo de informações mais transparente, a adoção da tecnologia *blockchain* otimiza a coordenação dos diferentes elos da cadeia do leite, contribuindo para minimizar esses problemas.

Por exemplo, conforme abordado nos tópicos 5.2 e 5.3, a tecnologia *blockchain* impacta positivamente na qualidade do leite que chega às indústrias. Desse modo, ela funciona como uma ferramenta para estreitar o relacionamento entre o produtor rural e as unidades de processamento. Isso pode aprimorar as políticas de pagamento pela qualidade do leite no Brasil, gerando benefícios tanto para as indústrias, que recebem um leite em melhores condições resultando em produtos de qualidade superior e maior rendimento, quanto para os produtores,

que passam a receber um valor mais elevado pelo leite fornecido (LAVELLI; BECCALLI, 2022).

Certificação: A capacidade de acompanhar o histórico do produto por diversos participantes, proporcionada pela tecnologia *blockchain*, pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar na certificação de origem dos derivados lácteos nacionais. A exemplo do trabalho de Giacalone et al. (2021), a aplicação da tecnologia *blockchain* pode conferir maior credibilidade aos produtos com denominação de origem controlada, como os queijos produzidos na Serra da Canastra.

Distribuição da informação: Outro aspecto relevante é a possibilidade de agências governamentais integrarem-se como nós na rede (SHINGH et al., 2020; WANG et al., 2020). Isso permitiria que órgãos fiscalizadores, como Anvisa, DIPOA, SIF, SIEs, entre outros, atuassem no acompanhamento das informações registradas na cadeia de blocos sobre os produtos e seus ingredientes ao longo da cadeia de suprimentos do leite até a chegada ao consumidor final.

Desafios técnicos: É fundamental destacar que desafios podem surgir com a utilização da tecnologia *blockchain*. Por exemplo, no Brasil, grande parte do leite é produzido é proveniente da agricultura familiar³, o que pode tornar inviável a expansão do uso dessa tecnologia para os pequenos produtores, uma vez que o *blockchain* demanda uma infraestrutura de TI adequada. Assim como, os desafios associados à imaturidade da tecnologia *blockchain*. Isso inclui a escassez de mão de obra qualificada, seja na configuração de contratos inteligentes ou na compreensão por parte dos gestores das nuances da tecnologia *blockchain*, a fim de desenvolver modelos de negócios eficazes.

CONCLUSÕES

Esse trabalho destaca os benefícios do uso da tecnologia *blockchain* e contratos inteligentes para a rastreabilidade em várias etapas das cadeias de suprimentos do leite, especialmente quando combinados com sensores da Internet das Coisas.

Por exemplo, a rastreabilidade proporcionada pelo *blockchain* pode contribuir para o gerenciamento otimizado dos insumos utilizados no manejo do gado, resultando em um leite de melhor qualidade para os produtores. Para as indústrias, o compartilhamento de informações transparentes pela fazenda em relação ao leite produzido reduz a possibilidade de adulterações.

No que diz respeito ao transporte e distribuição, ressalta-se a importância dos contratos inteligentes na validação dos dados extraídos pelos sensores da Internet das Coisa,

desempenhando um papel crucial como mecanismo de segurança nas cadeias frias ao longo de todo o percurso até os centros de distribuição ou pontos de venda.

Da mesma forma, observou-se que a capacidade de acessar o histórico dos produtos de ponta a ponta aprimora a identificação de produtos defeituosos ou fontes de contaminações, agilizando as operações de *recall* por parte de atacadistas e varejistas.

Além disso, esse trabalho também destacou possíveis implicações para o uso da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite no Brasil. Contudo, foram identificados desafios técnicos e de governança resultantes da ainda incipiente maturidade dessa tecnologia.

Por fim, dado que trabalho não identificou trabalhos nacionais sobre o uso da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos do leite, são sugeridas pesquisas futuras para avaliar a viabilidade dessa tecnologia no contexto brasileiro. Especial atenção deve ser dada à consideração das limitações de recursos enfrentadas pela maioria dos produtores rurais. Além disso, estudos direcionados para abordar os desafios relacionados ao equilíbrio entre governança e descentralização das informações são fundamentais. Da mesma forma, são recomendadas investigações sobre a adaptação dos modelos de negócios diante da integração da tecnologia *blockchain*.

REFERÊNCIAS

- AKRAM, M. W. et al. Blockchain technology in a crisis: Advantages, challenges, and lessons learned for enhancing food supply chains during the COVID-19 pandemic. **Journal of Cleaner Production**, p. 140034, 2023.
- AL-JAROODI, J.; MOHAMED, N. Blockchain in industries: A survey. **IEEE Access**, v. 7, p. 36500-36515, 2019.
- ANTONOPOULOS, Andreas M. **Mastering Bitcoin. Unlock digital crypto-currencies**. O'Reilly Media, 2014.
- ALSHEHRI, M. Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. **Internet of Things**, v. 22, p. 100739, 2023.
- AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. **Food control**, v. 39, p. 172-184, 2014.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70. 2016.
- BEHNKE, Kay; JANSSEN, MFWHA. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 101969, 2020.
- BOCEK, T. et al. Blockchains everywhere-a use-case of blockchains in the pharma supply-chain. In: **2017 IFIP/IEEE symposium on integrated network and service management (IM)**. IEEE, 2017. p. 772-777.

BUMBLAUSKAS, D. et al. A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been?. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 102008, 2020.

CARO, M. P. et al. Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. In: **2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany)**. IEEE, 2018. p. 1-4.

CASINO, F. et al. Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. **International journal of production research**, v. 59, n. 19, p. 5758-5770, 2021.

CASINO, F.; DASAKLIS, T. K.; PATSAKIS, C. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. **Telematics and informatics**, v. 36, p. 55-81, 2019.

CHANG, Y.; IAKOVOU, E.; SHI, W. Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 7, p. 2082-2099, 2020.

COLE, R.; STEVENSON, M.; AITKEN, J. Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 24, n. 4, p. 469-483, 2019.

DABBENE, F.; GAY, P.; TORTIA, C. Traceability issues in food supply chain management: A review. **Biosystems engineering**, v. 120, p. 65-80, 2014.

DAUD, A. R. et al. Risks in milk supply chain; a preliminary analysis on smallholder dairy production. **Livestock Research for Rural Development**, v. 27, n. 7, p. 1-14, 2015.

FUKUDA, K. Food safety in a globalized world. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 93, p. 212-212, 2015.

FURLONGER, D.; UZUREAU, C. **The real business of blockchain: How leaders can create value in a new digital age**. Harvard Business Press, 2019.

GALVEZ, J. F.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 107, p. 222-232, 2018.

GAUR, N. et al. **Hands-on blockchain with Hyperledger: building decentralized applications with Hyperledger Fabric and composer**. Packt Publishing Ltd, 2018.

GIACALONE, M. et al. Big data for corporate social responsibility: blockchain use in Gioia del Colle DOP. **Quality & quantity**, v. 55, n. 6, p. 1945-1971, 2021.

GS1. GS1 Global Traceability Standard. 58 p, 2017.

GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N.; RAHMAN, S. Supply chain resilience: role of complexities and strategies. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 22, p. 6809-6819, 2015.

HILEMAN, G., RAUCHS, M. **2017 global blockchain benchmarking study**. Cambridge: Cambridge Centre Alternative Finance, 2017.

HOLMBERG, A; ÅQUIST, R. **Blockchain technology in food supply chains: A case study of the possibilities and challenges with an implementation of a blockchain technology supported framework for traceability**. 2018. Dissertação (Master of Science in Industrial Engineering and Management) - Karlstad University, Faculty of Health, Science and, Technology, Sweden, 2018.

HUGHES, A. et al. Beyond Bitcoin: What blockchain and distributed ledger technologies mean for firms. **Business Horizons**, v. 62, n. 3, p. 273-281, 2019.

International Standard Organization [ISO]. **Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain**. Suíça, 2018.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International journal of production research**, v. 57, n. 3, p. 829-846, 2019.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 101967, 2020.

KASTEN, J. Blockchain application: The dairy supply chain. **Journal of Supply Chain Management Systems**, v. 8, n. 1, p. 45-54, 2019.

KHANNA, A. et al. Blockchain-enabled supply chain platform for Indian dairy industry: safety and traceability. **Foods**, v. 11, n. 17, p. 2716, 2022

KILPATRICK, J.; BARTER, L. **COVID-19: Managing supply chain risk and disruption**. 2020. Disponível em:
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/finance/Supply-Chain_POV_EN_FINAL-AODA.pdf> Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

KSHETRI, N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. **Telecommunications policy**, v. 41, n. 10, p. 1027-1038, 2017.

_____. 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. **International Journal of information management**, v. 39, p. 80-89, 2018.

KUMAR, R.; KUMAR, D. Blockchain-based smart dairy supply chain: catching the momentum for digital transformation. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, 2023.

LAVELLI, V.; BECCALLI, M. P. Cheese whey recycling in the perspective of the circular economy: Modeling processes and the supply chain to design the involvement of the small and medium enterprises. **Trends in Food Science & Technology**, v. 126, p. 86-98, 2022.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Estimating the impact of blockchain adoption in the food processing industry and supply chain. **International Journal of Food Engineering**, v. 16, n. 5-6, p. 20190109, 2020.

LYONS, T.; COURCELAS, L. **Governance of and with blockchains**. Suíça: ConsenSys AG, 2020.

MACKAY, T. K.; NAYYAR, G. A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. **Expert opinion on drug safety**, v. 16, n. 5, p. 587-602, 2017.

MAKKAR, H. P. S.; COSTA, C. Potential blockchain applications in animal production and health sector. **CABI Reviews**, n. 2020, 2020.

MALIK, S.; KANHERE, S. S.; JURDAK, R. Productchain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains. In: **2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)**. IEEE, 2018. p. 1-10.

- MANGLA, S. K. et al. Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chains refer. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 149, p. 102289, 2021.
- MCMAHON, M.; CRONIN, S. **Global Dairy Sector – Trends and opportunities**. Netherlands: Deloitte, 2016.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008.
- O'LEARY, D. E. Configuring blockchain architectures for transaction information in blockchain consortiums: The case of accounting and supply chain systems. **Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v. 24, n. 4, p. 138-147, 2017.
- PERBOLI, G.; MUSSO, S.; ROSANO, M. Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. **Ieee Access**, v. 6, p. 62018-62028, 2018.
- PIRUS, B. Nestle Tests Public Blockchains For Dairy Supply Chain. **Forbes**, 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/benjaminpirus/2019/07/09/nestle-tests-public-blockchain-for-dairy-supply-chain/?sh=1264ea7f5f0f>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.
- SABERI, S. et al. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International journal of production research**, v. 57, n. 7, p. 2117-2135, 2019.
- SALAH, K. et al. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. **Ieee Access**, v. 7, p. 73295-73305, 2019.
- SIMCHI-LEVI, D., KAMINSKY, P., & SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso** (3. Ed.). Porto Alegre: Bookman, 2010.
- SHINGH, S. et al. Dairy supply chain system based on blockchain technology. **Asian Journal of Economics, Business and Accounting**, v. 14, n. 2, p. 13-19, 2020.
- SINGH, V., SHARMA, S.K. Application of blockchain technology in shaping the future of food industry based on transparency and consumer trust. **J Food Sci Technol** 60, 1237–1254, 2023.
- SZABO, N. Smart contracts. 1994. Disponível em: <<http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.
- TAN, A.; NGAN, P. T. A proposed framework model for dairy supply chain traceability. **Sustainable Futures**, v. 2, p. 100034, 2020.
- TIAN, F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. In: **2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM)**. IEEE, 2016. p. 1-6.
- TIAN, F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In: **2017 International conference on service systems and service management**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- TSANG, Y. P. et al. Blockchain-driven IoT for food traceability with an integrated consensus mechanism. **IEEE access**, v. 7, p. 129000-129017, 2019.
- VARAVALLO, G. et al. Traceability platform based on green blockchain: An application case study in dairy supply chain. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3321, 2022.
- VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

VYAS, N.; BEIJE, A.; KRISHNAMACHARI, B. **Blockchain and the Supply Chain: Concepts, Strategies and Practical Applications** (1 ed.). London: Kogan Page Limited, 2019.

WANG, Y. et al. Food safety traceability method based on blockchain technology. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, p. 1-7, 2020.

WANG, Y.; HAN, J. H.; BEYNON-DAVIES, P. Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 24, n. 1, p. 62-84, 2019.

WILLSHER, K. Lactalis to withdraw 12m boxes of baby milk in salmonella scandal. **The Guardian**. 2018. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2018/jan/14/lactalis-baby-milk-salmonella-scandal-affects-83-countries-ceo-says>. Acesso em: 19 de dezembro de 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO]. **Food safety**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>. Acesso em: 19 de dezembro de 2023.

WÜST, K.; GERVAIS, A. Do you need a blockchain?. In: **2018 crypto valley conference on blockchain technology (CVCBT)**. IEEE, 2018. p. 45-54.

¹ EMBRAPA. **Anuário do leite – Leite de vacas felizes**. 2020. 104 p.

² EMBRAPA. (2012) *Desafios para a sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite*.

³ Ibid.