UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Ciências Aplicadas

SORAIA COSTA SILVA

CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* PARA A RASTREABILIDADE NO ÂMBITO DA GESTÃO DA SEGURANÇA DOS ALIMENTOS

LIMEIRA
2023

SORAIA COSTA SILVA

CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* PARA A RASTREABILIDADE NO ÂMBITO DA GESTÃO DA SEGURANÇA DOS ALIMENTOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Administração.

Orientadora: Profa. Dra. Ieda Kanashiro Makiya

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA SORAIA COSTA SILVA, E ORIENTADA PROFA. DRA. IEDA KANASHIRO MAKIYA.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas
Ana Luiza Clemente de Abreu Valério - CRB 8/10669

Si38c

Silva, Soraia Costa, 1983-
Contribuição da tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade no âmbito da gestão da segurança dos alimentos / Soraia Costa Silva. – Limeira, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Ieda Kanashiro Makiya.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Blockchains (base de dados). 2. Cadeia de suprimentos. 3. Rastreabilidade. I. Makiya, Ieda Kanashiro, 1966-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Contribution of blockchain technology to traceability in the context of food safety management
Palavras-chave em inglês:
Blockchains (Databases)
Supply chains
Traceability
Área de concentração: Gestão e Sustentabilidade
Titulação: Mestra em Administração
Banca examinadora:
Ieda Kanashiro Makiya [Orientador]
Paulo Sérgio de Arruda Ignácio
Andrea Leda Ramos de Oliveira
Data de defesa: 01-02-2023
Programa de Pós-Graduação: Administração

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)
- ORCID do autor: https://orcid.org/0009-0005-7582-9096
- Currículo Lattes do autor: https://lattes.cnpq.br/8491945118763666

LIMEIRA
2023

Folha de Aprovação

Autora: SORAIA COSTA SILVA
Título: CONTRIBUIÇÃO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN PARA A RASTREABILIDADE NO ÂMBITO DA GESTÃO DA SEGURANÇA DOS ALIMENTOS
Natureza: Dissertação
Área de Concentração: Gestão e Estratégia
Instituição: Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/Unicamp
Data da Defesa: Limeira - SP, 01 de fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Ieda Kanashiro Makiya (orientadora)
Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp

Prof. Dr. Paulo Sergio de Arruda Ignacio (membro)
Faculdade de Ciências Aplicadas - FCA/Unicamp

Prof. Dra. Andrea Leda Ramos de Oliveira (membro externo)
Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Às minhas filhas Heloísa e Marília,
que personificam o significado do
Amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Didico e Fatinha, pelo exemplo de vida. E principalmente pelos ensinamentos que me fazem acreditar no poder transformador da Educação.

Agradeço ao meu marido e grande amor José, por estar sempre ao meu lado e apoiar minha ausência.

Agradeço as minhas filhas Heloísa e Marília, pela compreensão... mesmo que incompreensível quando se tem 5 e 3 anos... das inúmeras vezes em que não pude ser companhia.

Agradeço as minhas irmãs, Sil e Carol, a minha família (tios e primos) e amigos, por me incentivarem, apoiarem e fornecerem suporte que fizeram minha jornada mais fácil.

Agradeço a minha orientadora Ieda, pela paciência e visão integral que foram fundamentais para a construção desse estudo. Obrigado por me motivar, elevar meu espírito ao sucesso e por acreditar em mim, mais que eu mesma! Que nunca falte ao mundo grandes mestres como você.

Agradeço a todos os professores do programa de pós-graduação Administração da FCA pelos ensinamentos e, em especial, aos professores Giocondo, Ieda, Muriel e Paulo Ignácio pelas contribuições fundamentais para a pesquisa.

E por fim, agradeço a todos os amigos que fiz ao longo destes 2 anos na FCA! Sem vocês, não teria sido tão leve e feliz.

RESUMO

Com o crescimento do mercado de alimentos, a cadeia de suprimentos tem sido bastante desafiada em relação a segurança dos alimentos. A rastreabilidade é considerada como um novo índice de qualidade na indústria alimentícia, e é indispensável em um mundo com mercados intercontinentais, complexos e com consumidores cada vez mais exigentes. Construir sistemas de rastreabilidade que registrem, compartilhem e rastreiem com precisão e em tempo real toda a cadeia é imprescindível para que as empresas entreguem ao consumidor alimentos mais seguros. Os sistemas tradicionais de rastreabilidade, com coleta de dados manuais e intervenções humanas, não são capazes de entregar segurança dos alimentos, transparência e rastreabilidade em tempo real. A tecnologia *Blockchain* surge como resposta promissora para contribuir com o gerenciamento da cadeia de suprimentos de alimentos. Contudo, sabemos que esta cadeia da fazenda a mesa é complexa, e é preciso rastrear o produto por completo, incluindo seu transporte. Como a quantidade e a variedade de alimentos transportados no mundo só aumentam, tem-se um complexo sistema de transporte que, se não for controlado, pode entregar a indústria um produto que oferece risco ao consumidor. O setor de transporte de alimentos possui muitos desafios relacionados a segurança dos alimentos, e o objetivo deste trabalho é analisar a contribuição de um sistema de rastreabilidade baseado em *Blockchain*, aplicado ao transporte para aumentar a segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos. Foram levantados os principais desafios para a segurança dos alimentos no transporte através de listagem dos perigos e na sequência com um estudo de caso único, foram identificados as contribuições de cada um dos perigos e seus controles preventivos correlacionados em relação à aplicação da ferramenta Bulkvison®. A pesquisa demonstrou que a ferramenta baseada em *Blockchain* pode contribuir para uma cadeia de suprimentos mais segura, e apresentou ganhos significativos em termos de confiança, eficiência, qualidade; mas principalmente, aos processos que garantem segurança dos alimentos, a limpeza e sanitização das unidades transportadoras, solucionando um dos principais desafios de contaminação cruzada, listados pelos autores e pelo FDA.

Palavras-chave: *Blockchain; "Food Supply Chain"; Traceability*; *Food Safety.*

ABSTRACT

With the growth of the food market, the supply chain has been greatly challenged in terms of food safety. Traceability is considered a new quality index in the food industry, and it is indispensable in a world with intercontinental, complex markets and increasingly demanding consumers. Building traceability systems that accurately record, share, and track the entire supply chain in real time is essential for companies to deliver safer food to consumers. Traditional traceability systems, with manual data collection and human interventions, are unable to provide food safety, transparency, and real-time traceability. Blockchain technology emerges as a promising solution to contribute to the management of the food supply chain. However, we know that this farm-to-table chain is complex, and the product needs to be tracked in its entirety, including transportation. As the quantity and variety of food transported worldwide continue to increase, a complex transportation system exists that, if not controlled, can deliver a product that poses a risk to the consumer. The food transportation sector has many challenges related to food safety, and the aim of this work is to analyze the contribution of a Blockchain-based traceability system applied to transportation to increase food safety in the supply chain. The main challenges for food safety in transportation were identified by listing hazards and subsequently identifying the contributions of each hazard and its correlated preventive controls in relation to the application of the Bulkvison® tool in a unique case study. The research showed that the Blockchain-based tool can contribute to a safer supply chain and presented significant gains in terms of confidence, efficiency, quality; but mainly to the processes that ensure food safety, cleaning, and sanitation of transport units, solving one of the main challenges of cross-contamination listed by the authors and the FDA.

Key- words: *Blockchain; "Food Supply Chain"; Traceability*; *Food Safety.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de rastreabilidade de produto 22

Figura 2 - Etapas para registro de transações na rede *Blockchain*.....27

Figura 3 - Probabilidades de rastreamento mal-sucedido com cenário convencional e baseado em IoT.....32

Figura 4 - Estrutura conceitual da SCM adotando IoT e BCT 33

Figura 5 - Enquadramento metodológico.....39

Figura 6 - Design da pesquisa – Pesquisa bibliográfica.....43

Figura 7 - Evolução das publicações ao longo dos anos 45

Figura 7 - Participação dos Países nas publicações.....45

Figura 8 - Análise das palavras contidas nos artigos selecionados 46

Figura 9 - Bulkvision® etiqueta de identificação global.....53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais Perigos para Segurança dos alimentos no Transporte.....37

Quadro 2 - Critérios da pesquisa bibliográfica usados nas bases de dados 44

Quadro 3 - Os 3 Artigos mais citados na base de dados Google Acadêmico 47

Quadro 4 - Correlação dos controles preventivos e principais perigos de segurança dos alimentos.....49

Quadro 5 - Análise da ferramenta Bulkvision ® em relação aos perigos de segurança dos alimentos no transporte e os controles preventivos relacionadas....54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCT	*Blockchain Technology* (Tecnologia *Blockchain*)
COVID-19	Coronavírus
DOP	Denominação de origem protegida
ENFIT	ENFIT International Association - Supply Chain Safety
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
FDA	U.S. Food and Drug Administration (Orgão Regulatório dos Estados Unidos para alimentos e medicamentos)
FSC	Food Supply Chain (Cadeia de suprimentos de alimentos)
FSMA	*Food Safety Modernisation Act* (Lei da Modernização da Segurança dos alimentos dos EUA)
GPS	*Global Positioning System*
IGP	Indicação Geográfica Protegida
IoT	*Internet of Things* (Internet das coisas)
M2M	Máquina - para - máquina
NFC	*Near Field Communication*
OGM	Organismo Geneticamente Modificados
OMS	Organização Mundial de Saúde
QR Code	Códigos QR
RFID	*Radio Frequency Identification*
SCM	*Supply Chain Management* (Gestão da cadeia de suprimentos)
TRU	Unidade de recurso rastreável
UE	União Europeia

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **13**
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TÉORICO **19**
1.1 IMPORTÂNCIA DA RASTREABILIDADE PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS **19**
1.1.1 CONCEITOS GERAIS DE RASTREABILIDADE DE ALIMENTOS *19*
1.1.2 RASTREABILIDADE APLICADA À CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS *21*
1.2 BLOCKCHAIN E SUA APLICAÇÃO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS **25**
1.2.1 CONCEITOS GERAIS DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN *25*
1.2.2 APLICAÇÕES GERAIS DE BLOCKCHAIN NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS *28*
1.3 RASTREABILIDADE BASEADA EM *BLOCKCHAIN* NO TRANSPORTE DE ALIMENTOS **30**
1.3.1 PRINCIPAIS DESAFIOS RELACIONADOS A SEGURANÇA DOS ALIMENTOS NO TRANSPORTE *35*
2 METODOLOGIA **39**
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA **39**
2.2 METODOLOGIA ESTUDO DE CASO **41**
3 RESULTADOS **42**
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA **42**
3.1.1ANÁLISE DOS MATERIAIS *44*
3.2 DESAFIOS DE SEGURANÇA DOS ALIMENTOS NA RASTREABILIDADE POR *BLOCKCHAIN* NO TRANSPORTE **48**
3.3 ESTUDO DE CASO **51**
CONCLUSÃO **59**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **61**

INTRODUÇÃO

Com o crescimento do mercado de alimentos, a cadeia de suprimentos tem sido bastante desafiada nas últimas décadas, principalmente em relação a proteção e a segurança dos alimentos. O aumento da população mundial, a alteração do perfil demográfico, maior conscientização da população na busca por alimentos seguros e um número maior de escândalos alimentares, são algumas das perspectivas que fazem parte do cenário global em constante transformação, e que impactam diretamente na cadeia de abastecimento de alimentos.

A Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação sinaliza que a população mundial deverá crescer para quase 10 bilhões até 2050, impulsionando a demanda agrícola que; em um cenário modesto de expansão; cresceria cerca de 50% em comparação com 2013. A mesma agência relata que o perfil da população irá mudar. Trinta e cinco anos atrás, mais de 60% das pessoas viviam em áreas rurais, no ano de 2017 mais de 54% já estavam em áreas urbanas, e até 2050, dois terços da população mundial viverão nas cidades (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017).

Por outro lado, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 600 milhões - quase 1 em cada 10 pessoas no mundo - adoecem após comer alimentos contaminados e 420.000 morrem a cada ano, resultando na perda de 33 milhões de vidas saudáveis. As crianças com menos de 5 anos de idade carregam 40% da carga de doenças de origem alimentar, com 125.000 mortes a cada ano (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022).

Em linha com os dados da OMS, no mundo todo, vários escândalos alimentares afetaram a confiança do consumidor na cadeia de suprimentos de alimentos. Os pesquisadores Westerlund *et al*. (2021), citam em seu estudo alguns exemplos, como o ocorrido na China em 2011, onde um grande escândalo de fraude de alimentos com a rotulagem incorreta de carne suína levou ao recall de produtos de carne de burro fraudada com carne de raposa. Já nos Estados Unidos da América (EUA) em 2017, mamões foram a causa de um surto nacional de *Salmonella* e no Canadá quatro milhões de pessoas foram afetadas por doenças provocadas por alimentos contaminados (WESTERLUND *et al*., 2021).

Neste contexto, a consciência do consumidor para a importância de se consumir alimentos seguros, que não afetem a sua saúde, foi ampliada nos últimos anos. Por outro lado, a sua confiança na origem e na qualidade do alimento a ser consumido reduziram, ao ponto de os consumidores passarem a exigir certificações confiáveis para rastrear a origem desses produtos da fazenda para a mesa (PATELLI; MANDRIOLI, 2020). Estas novas exigências, demandam da cadeia de suprimentos de alimentos (FSC) um sistema de rastreabilidade que possa rastrear o movimento para trás (*upstream*) e para frente (*downstream*) de produtos alimentícios e seus ingredientes ao longo da cadeia (TANWAR *et al*., 2022).

Do mesmo modo, há a exigência dos governos e organizações de saúde no mundo inteiro que criaram leis, diretrizes e padrões para rastreabilidade dos alimentos. Como exemplo na Europa, a Diretiva Europeia 178/2002 desde 1º de janeiro de 2005 estabelece a obrigatoriedade da rastreabilidade dos produtos alimentícios (DEMESTICHAS *et al*., 2020). Os incidentes alimentares demoram a ser tratados pela cadeia de suprimentos devido principalmente a: incapacidade de rastrear os alimentos ao longo da cadeia, a baixa transparência, a separação ineficiente dos lotes, alta complexidade e das longas distancias entre as etapas da cadeia; tornando o sistema de rastreabilidade um desafio a proteção e a segurança dos alimentos (WESTERLUND *et al*., 2021).

A rastreabilidade captura, armazena e transmite dados corretos sobre um alimento em todas as etapas da cadeia de suprimento de alimentos possibilitando o rastreamento a qualquer momento. Para Casino *et al*. (2021), a rastreabilidade é considerada como um novo índice de qualidade na indústria alimentícia, e são os sistemas de rastreabilidade que permitem que as empresas identifiquem a causa e a extensão para resolver problemas de segurança dos alimentos. E embora, já existam os sistemas tradicionais de rastreabilidade, observa-se que a maioria deles é centralizada, pouco ágil e transparente, e ultrapassados em termos de compartilhamento de dados (DEMESTICHAS *et al*., 2020).

E é neste ponto que as tecnologias *Blockchain* (BCT) surgem como resposta às exigências dos consumidores, uma vez que são sistemas confiáveis que possuem um registro criptografado seguro e imutável das transações e metadados associados, em todas as cadeias de suprimentos (PATELLI; MANDRIOLI, 2020). Tendo em consideração que segurança da informação, privacidade e imutabilidade dos dados da cadeia de suprimentos de alimentos são questões importantes para

consumidores, empresas e governos, a BCT pode lidar com os desafios mencionados e oferecer uma gestão eficaz e confiável da rastreabilidade (TANWAR *et al*., 2022).

Contudo, sabemos que a FSC da fazenda a mesa é complexa, considerando fornecimento, processamento, transporte e armazenamento dos alimentos, temos enormes desafios e possibilidades de aplicações de BCT, principalmente para a rastreabilidade. Segundo estudos relatados por Zhao *et al*. (2019) a aplicação do BCT para esta cadeia ainda está concentrada nas áreas: rastreabilidade, na segurança de informação, na fabricação e na gestão de recursos hídricos, demonstrando que a etapa de fabricação do alimento, ainda é a que mais aplica as novas tecnologias para rastreamento.

A FAO (2017) estabelece que um sistema de rastreabilidade deve: (i) permitir identificação do produto através de uma identificação, sendo o número de Lote e sua relação com os lotes de ingredientes, matérias-primas, e materiais de embalagens de contato direto e indireto; (ii) ser capaz de rastrear desde o cliente voltando em todas as etapas de processo até o fornecedor de ingredientes, matéria-prima e embalagens , incluindo o transporte; (iii) ser capaz de rastrear a partir do fornecedor de ingredientes, matéria-prima e embalagens até o cliente, incluindo o transporte. Ou seja, é preciso rastrear o produto por completo na cadeia de suprimentos de alimentos, incluindo seu transporte.

Tendo em vista que a cadeia de suprimentos de alimentos se alonga a cada ano, e que a quantidade e variedades de alimentos transportados no mundo de um ponto a outro aumentam cada dia mais, temos um complexo sistema de transporte de alimentos. Com uso de múltiplos tipos de recipientes, inúmeros controles de temperaturas, diversas especificações de manuseio para cada tipo de alimento, tem-se uma maior complexidade que, se não for controlada podem resultar em um aumento de contaminações durante a etapa de transporte e consequentemente, entregar a indústria de alimentos um produto que oferece risco ao consumidor (ACKERLEY; SERTKAYA; LANGE, 2010).

Em estudo conjunto com a U.S. Food and Drug Administration (FDA) - Órgão Regulatório dos Estados Unidos para Alimentos e Medicamentos, Ackerley, Sertkaya e Lange (2010) demonstraram que o setor de transporte de alimentos possui muitos desafios relacionados a segurança dos alimentos. Avaliaram os principais modos de transporte e listaram cinco principais perigos de segurança dos alimentos que mais preocupam o setor: (1) falta de segurança do produto; (2) práticas

inadequadas de retenção do alimento que aguardam embarque e/ou inspeção; (3) controles de temperatura; (4) contaminação cruzada; (5) práticas, condicionamento ou equipamentos incorretos de carregamento. Paralelamente, mostraram que uma pesquisa realizada nos EUA por um fornecedor de serviços logísticos terceirizados constatou que: - 63,5% dos entrevistados terceirizam parte ou a totalidade de seu transporte; e - 58,3% dos entrevistados indicam fazer *backhauling* (implica planejar viagens de ida e volta, com uso de uma carga diferente no caminhão vazio em uma viagem de retorno), o que aumenta o risco de contaminação cruzada entre os alimentos sem que seja realizado uma limpeza e sanitização adequadas do meio de transporte ou recipiente de armazenamento.

Tendo em vista que o modelo tradicional de rastreabilidade de transporte não é capaz de entregar segurança dos alimentos, transparência e rastreabilidade em tempo real (DEMESTICHAS *et al*., 2020), o *Blockchain* tem então possibilidade de apresentar-se como uma ferramenta extremamente eficaz e que tem enorme potencial para fazer mudanças permanentes nos modelos tradicionais de rastreabilidade do transporte, migrando para um modelo mais moderno, rápido, transparente e seguro, promovendo mais segurança dos alimentos (PANDEY; PANT; SNASEL, 2022).

Logo, considerando o foco crescente na segurança dos alimentos e na conscientização do consumidor, aumenta a necessidade de identificação e adoção de práticas de negócios que ajudarão os parceiros comerciais da indústria de alimentos a rastrear seu produto em toda a cadeia de suprimentos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022). Em um cenário da cadeia de suprimentos global e complexa é um desafio contínuo garantir que todos os participantes da cadeia de suprimentos de alimentos sejam eficazes em eliminarem os riscos ao consumidor, tem-se a seguinte questão de pesquisa:

Como a tecnologia *Blockchain* aplicada a rastreabilidade pode contribuir com a segurança dos alimentos para cadeia de suprimentos?

Para responder a essa pergunta, foram definidos: objetivo principal e objetivos secundários, como também foi escolhido para estudo o caso da ferramenta Bulkvision®; que usa BCT com armazenamento em nuvem para rastrear em tempo real o transporte de alimentos e controlar os padrões de higiene durante o transporte através de certificados internacionais de limpeza; e será mais bem detalhado no Capítulo 3.

O objetivo principal deste trabalho é identificar a contribuição de um sistema de rastreabilidade baseado na tecnologia *Blockchain* aplicado ao transporte de alimentos para aumentar a segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos de alimentos.

Para tanto, o trabalho possui os seguintes objetivos secundários:

a) Consolidar o conhecimento mais relevante sobre os temas rastreabilidade e *Blockchain* na cadeia de suprimentos de alimentos através de pesquisa bibliográfica e realizar análise bibliométrica dos materiais.
b) Identificar desafios de segurança dos alimentos para rastreabilidade do transporte de alimentos.
c) Aplicar os desafios de segurança dos alimentos para o transporte de alimentos na ferramenta Bulkvision® a fim de avaliar sua contribuição para cadeia de suprimentos.

A presente dissertação, além da Introdução já descrita; que envolveu os elementos introdutórios, justificativa de pesquisa e objetivos; está estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1 – Fundamentação Teórica: esse primeiro capítulo aborda, a partir da literatura, quais são os conceitos, fundamentos e aplicações dos principais tópicos desse trabalho: rastreabilidade, BCT e segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos de alimentos.

Capítulo 2 – Metodologia: o capítulo de metodologia apresenta quais foram às abordagens metodológicas utilizadas para atingir o objetivo proposto. Primeiramente foi realizada a revisão da literatura, com o intuito de avaliar os principais conceitos e abordagens para rastreabilidade na cadeia de suprimentos de alimentos e, levantar os principais desafios.

Capítulo 3 – **Resultados**: esse capítulo apresenta os resultados obtidos na revisão bibliográfica, trazendo a análise da aplicação da BCT na rastreabilidade do transporte de alimentos e a melhoria da gestão de segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos por meio da identificação dos desafios de segurança dos alimentos para rastreabilidade do transporte de alimentos e aplicação na ferramenta Bulkvision® a fim de avaliar sua contribuição para cadeia de suprimentos.

Conclusões: principais conclusões obtidas no desenvolvimento do

trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TÉORICO

1.1 IMPORTÂNCIA DA RASTREABILIDADE PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS

1.1.1 CONCEITOS GERAIS DE RASTREABILIDADE DE ALIMENTOS

O termo “rastreabilidade” possui diferentes definições na literatura, o que demonstra que não há um consenso sobre o termo. De acordo com Behnke e Janssen (2020), a maioria dos padrões de rastreabilidade convergem na descrição da capacidade de seguir a característica de um produto da sua origem até a etapa final da cadeia de suprimentos.

Os primeiros conceitos de “rastreabilidade” originaram-se em campos relacionados às atividades de saúde, aeroespaciais e atividades de armamento, em seguida foi ampliada para os setores industriais, incluindo o setor da indústria alimentícia. Com a necessidade de informações mais precisas sobre saúde animal e segurança dos alimentos durante as diversas crises alimentares das últimas décadas, o desenvolvimento de instrumentos para garantir informações confiáveis para FSC se tornou indispensável. Ainda que se tenham evidências de atividades de rastreio até a década de 90, o interesse pela rastreabilidade de alimentos fortaleceu-se, principalmente nos últimos 20 anos para responder aos consumidores, clientes e aos órgãos regulatórios, especialmente durante as crises alimentares ocorridas na Europa (ENE, 2013).

Ene (2013) reforça que a primeira definição internacional para rastreabilidade foi dada na International Organization for Standardization (ISO) – Organização Internacional de Padronização, ISO 8402 em 1987; que se manteve na versão posterior do ano de 1994; como “a capacidade de recuperar histórico, uso ou localização de uma entidade por meio de identificações registradas” (ENE, 2013, p. 288, tradução nossa). Posteriormente, o conceito de rastreabilidade foi introduzido na série de normas ISO 9000 sobre sistemas de garantia de qualidade aplicável a qualquer produto ou processo, e não somente a cadeia de alimentos.

Sendo assim, para esclarecer um dos principais conceitos deste estudo delimitado para cadeia de suprimento de alimentos, aponho a definição da FAO (2017) no documento *Food Traceability Guidance* (Guia de Rastreabilidade de Alimentos) por considerar a mais ampla entre as outras definições encontradas.

O documento acima citado, considera que a indústria de alimentos é composta por muitos parceiros comerciais, que vão desde o agricultor até fornecedores de origem internacional. E enfatiza que a primeira prioridade da rastreabilidade é proteger o consumidor através de uma identificação mais rápida e precisa de um produto em análise.

> A rastreabilidade é um processo de negócios que permite que os parceiros comerciais acompanhem os produtos à medida que se movem do campo para a loja de varejo ou serviços de alimentação. Cada Parceiro de Rastreabilidade deve ser capaz de identificar a fonte direta (fornecedor) e o destinatário direto (cliente) do produto (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017, p. 02, tradução nossa).

Do mesmo modo, a FAO considera que a rastreabilidade pode ser aplicada a uma grande variedade de propósitos de negócios: no *recall* ou recolhimento de produtos; comprovação de conformidade regulatória; rastreamentos de saúde pública; garantir a segurança dos alimentos e a garantia de qualidade; e gestão de processos e pedidos.

A rastreabilidade pode ser dividida em dois níveis: a rastreabilidade interna, que funciona a nível local com uma única empresa; e a rastreabilidade externa que está a nível da cadeia de abastecimento e possui várias etapas, exigindo mais coordenação. Neste segundo nível, é possível identificar que cada etapa ao longo da FSC desempenha um papel estratégico de acordo com suas responsabilidades especificas. Além do mais, possibilita a recuperação de informações ao longo da extensa FSC, conectando consumidores finais com informações sobre origem de matéria prima, condições de produção, transformação e transporte (LATINO *et al*., 2022).

É importante observar que a rastreabilidade deve ser classificada de acordo com o sentido em que as informações são recuperadas na cadeia de alimentos. Behnke e Janssen (2020) afirmam, a partir dos termos em inglês *tracking* e *tracing*, que temos formas diferentes de rastreabilidade, apesar da tradução resultar em “rastreabilidade” em português para ambas as palavras. *Tracking* é a capacidade de acompanhar o caminho posterior, da próxima etapa de um produto ao longo de uma cadeia de suprimentos, enquanto *tracing* refere-se à capacidade de determinar a origem de um produto e seus ingredientes, usando registros mantidos nas etapas anteriores na cadeia de suprimentos.

As características do produto ou classe de produto devem ser definidas e agrupadas em uma unidade de recurso rastreável (TRU):

a) **Unidades de Lote**: produtos que passam pelas mesmas etapas do processo, produtos com a mesma data de validade e número de lote.
b) **Unidades comerciais**: produtos que se movimentam, enviados ao longo de uma cadeia de suprimentos, de uma etapa para a outra etapa, caixas de produtos com os mesmos números de lote.
c) **Unidades de caminhão**: produtos agrupados em blocos logísticos para transporte ou armazenamento, paletes de produtos com números de lote diferentes. (BEHNKE; JANSSEN, 2020)

A União Europeia (UE), na Lei Geral de Alimentos 178/2002, define dois tipos de rastreabilidade: obrigatória e voluntária. Os dados de rastreabilidade obrigatórios, tem a ver principalmente com fins financeiros e requer informações sobre os produtos quanto aos aspectos de qualidade: número do lote, identidade do produto, descrição do produto, identidade do fornecedor, quantidade, unidade de medida, identidade do comprador. Os dados voluntários referem-se à capacidade de cada etapa na cadeia de definir livremente quais dados reunir, podendo ser: nome do fornecedor, informações de contato, data de recebimento, país de origem, data da embalagem, unidade comercial, identidade do veículo de transporte, identidade do fornecedor de serviços de logística, nome do comprador e data de expedição. Quando a rastreabilidade obrigatória é complementada pela voluntária, tem-se um sistema de rastreabilidade mais confiável e completo. O desafio está justamente em garantir confiabilidade a complexidade dos sistemas voluntários, sendo que cada etapa tem seus próprios métodos de rastreamento e à grande variedade de dados obtidos (BOSONA; GEBRESENBET, 2013; DEMESTICHAS *et al*., 2020). Apesar de complexos, vale ressaltar a importância dos sistemas voluntários para melhoria da segurança dos alimentos, pois a sua aplicação aumenta a competitividade, transparência e agilidade.

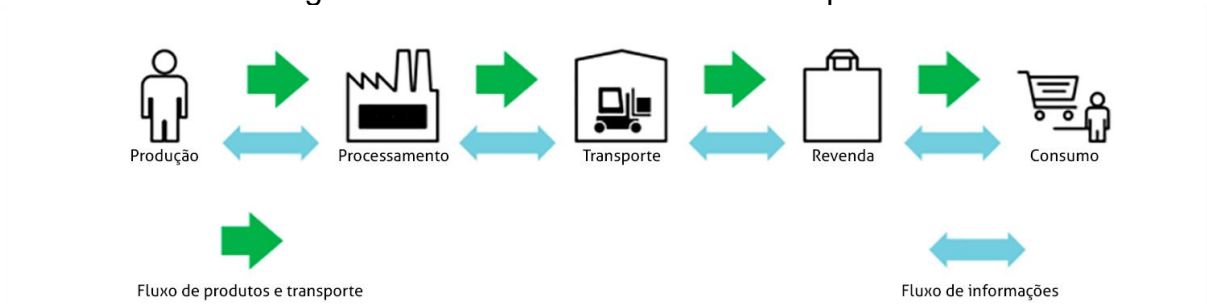
1.1.2 RASTREABILIDADE APLICADA À CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS

Com surgimento na área de logística no início dos anos 80, o termo “Cadeia de Suprimentos” é contemporâneo, e foi definido por Qian *et al*. (2022, p. 680, tradução nossa) como “sistema integrado com um objetivo comum, uma cadeia de

suprimentos é um método de gestão de etapas que pode otimizar o progresso desde a matéria-prima até aos produtos finais.” Portanto, uma cadeia de suprimentos compreende processos conduzidos por trabalhos em rede, com suas conexões verticais e horizontais entre organizações interligadas e codependentes que cooperam para organizar e melhorar a transferência dos materiais e das informações através da cadeia.

Assim definido, a FSC se caracteriza pelo conjunto de etapas que transformam matéria prima em produtos alimentícios a serem disponibilizados para consumidor final. Do campo a mesa, a cadeia de suprimentos de alimentos consiste basicamente: no produtor agrícola, processamento, transporte e armazenamento, varejo e consumidor final, conforme Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Fluxo de rastreabilidade de produto



Fonte: Adaptado de DEMESTICHAS *et al*. (2020, p. 2)

Ao longo dos últimos 50 anos, a FSC mudou significativamente, por um visível processo de industrialização e globalização dos alimentos e da agricultura. A cadeia de alimentos se alongou à medida que a distância física do campo até ao prato aumentou; e o consumo de alimentos semiprocessados e processados cresceu significativamente (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017). E surge com a globalização um dos maiores desafios da FSC: rastrear os produtos e etapas em uma cadeia cada vez mais interconectada e global, que tem vulnerabilidades inerentes da própria característica do produto, alguns alimentos são perecíveis outros não perecíveis, mas ambos precisam atender aos padrões de segurança e qualidade do produto (FRIEDMAN; ORMISTON, 2022).

Em geral, há motivadores internos e externos que levam uma empresa a adotar um sistema de rastreabilidade. Latino *et al*. (2022) consideram que os fatores externos, são aqueles do macroambiente que exige que a empresa se adapte para

manter-se competitiva, como por exemplo: requisitos regulatórios de segurança dos alimentos, sustentabilidade, satisfação do consumidor e tecnologia. Já os fatores internos surgem com a busca da própria empresa por benefícios com a adoção de estratégias de negócios, como por exemplo implementação de normas técnicas certificáveis, redução de custos, planejamento e inovações. Entre os fatores externos, a regulamentação representa o fator mais antigo para implementação da rastreabilidade de alimentos; como por exemplo; a Lei Alimentar da UE 178/2002; Lei de Bioterrorismo dos EUA, Lei de Modernização da Segurança Alimentar dos EUA - *Food Safety Modernisation Act* (FSMA). Um fator interno altamente relevante é a importância econômica da implementação da rastreabilidade. Como consequência a uma cadeia de alimentos rastreável, a empresa passa a gerenciar melhor os estoques, consegue recolher os produtos de forma mais assertiva e rápida reduzindo os desperdícios, tem maior eficiência operacional, e aumenta a competitividade, melhora a imagem da empresa por meio de compartilhamento de informações claras e confiáveis, o que minimiza a possibilidade de um recall público do produto (LATINO *et al*., 2022). Como exemplo, o caso da alface romana de 2018, que durante a crise todas as unidades de alface foram retiradas das prateleiras sem conhecimento do início da contaminação, ou seja, sem rastreabilidade de origem. Toda a alface disponível nos mercados foi descartada devido à falta de mecanismo adequado de rastreamento por parte das organizações governamentais, produtora e vendedora de alimentos (BHAT *et al*., 2022), o que significou um prejuízo para cadeia como um todo, principalmente financeiro, com descarte de unidades boas.

Conforme observado por Qian *et al*. (2022), são dois os principais tipos de cadeias de fornecimento de alimentos relacionados a produção e transporte dos produtos:

1- Cadeias de Fornecimento de produtos agrícolas frescos, onde as características intrínsecas do produto inicial permanecem as mesmas, e os principais processos são manuseio, armazenamento condicionado, embalagem, transporte e comercialização.
2- Cadeias de abastecimento de alimentos semiprocessados e processados. Que entram na cadeia como produtos agrícolas crus e finalizam como produtos processados de consumo com maior valor agregado e vida útil prolongada.

E, para Westerlund *et al*. (2021), são seis elementos-chave que constituem

o sistema de rastreabilidade da FSC:

> 1- *Rastreabilidade do produto:* localização física de um produto em qualquer etapa da cadeia de suprimentos, gestão de estoque, recall do produto, tipo de rastreabilidade do produto e tipo de alimento a ser rastreado.
>
> 2- *Rastreabilidade do processo:* tipo e sequência de atividades que afetam o produto (causa, localização, tempo; fatores químicos, físicos, ambientais e atmosféricos), padrões e regulamentações de conformidade com entidades governamentais e colaboração entre entidades da cadeia de fornecimento de alimentos.
>
> 3- *Rastreabilidade genética: constituição genética do produto, tipo e origem dos ingredientes, informações sobre os materiais de plantio (semente, estacas, tubérculos) para a criação do produto original.*
>
> 4- *Rastreabilidade dos insumos:* tipo e origem dos insumos como fertilizantes, sprays químicos, pecuária, ração, aditivos e produtos químicos para preservação.
>
> 5- *Rastreabilidade de doenças e pragas:* envolvendo a epidemiologia de pragas, bactérias, vírus e patógenos emergentes, que podem contaminar os alimentos.
>
> 6- *Rastreabilidade da medição:* padrões de medição, comprimento, profundidade, precisão de rastreamento, controle de qualidade e tipo de rastreabilidade (WESTERLUND *et al*., 2021, p. 8-9, tradução nossa).

Comparativamente a outras indústrias, a produção de alimentos são cadeias de valor mais vulneráveis, pela própria característica do produto, que exige mais cuidado com os processos de manipulação, produção e armazenamento. Vários aspectos como temperatura e umidade do ambiente, temperatura do transporte, limite de validade, podem afetar diretamente a cadeia de alimentos. E mesmo os alimentos processados, que possuem vida de prateleira maior, possuem processo produtivo complexo com vários ingredientes, processamentos complicados que exigem um foco ainda maior na qualidade e segurança dos alimentos, pois a falha nestes produtos pode produzir doenças transmitidas por alimentos, fraudes em produtos, rotulagens incorretas e adulteração. O que transforma as etapas da FSC ainda mais dependentes umas das outras, sendo importantes atores para o resultado (DUAN *et al*., 2020).

Neste contexto global, é possível assegurar que, para que a rastreabilidade aconteça todas as partes interessadas ao longo da FSC devem estar envolvidas. A produção de altos volumes de dados, a coleta e armazenamento dos dados e a acessibilidade automatizada dos dados e a confiabilidade das informações são considerados por Westerlund *et al*. (2021) como pontos críticos.

Porém Duran *et al*. (2020) afirmam que a FSC moderna ainda é bastante centralizada, e que depende de agentes centrais para controlar o fluxo de informações, o que ameaça a transparência da cadeia, produzindo informações diferentes e baixa confiabilidade. As empresas podem optar por fornecer informações que sejam favoráveis à sua imagem, mas ocultar informações importantes de governos e clientes. Além de que, os *recalls* de produtos podem levar semanas e até meses devido ao rastreamento ineficiente. De acordo com Duan *et al*. (2020) e dados do FDA um r*ecall* dura em média 57 dias, e às vezes pode levar até 10 meses. Com os sistemas de rastreabilidade atuais baseados em papel ou bancos de dados particulares, a resposta ao consumidor e aos órgãos regulatórios se tornam mais lentos, aumentando a probabilidade de danos a saúde pública, como também afetar a imagem de uma marca e de uma empresa.

Assim sendo, um sistema de rastreabilidade eficiente pode ser um recurso importante para FSC, e a BCT se apresenta como uma solução que atende a estas necessidades, pois são considerados sistemas confiáveis, que fornecem um registro criptografado seguro e imutável de transações e metadados associados vinculados a toda FSC (PATELLI; MANDRIOLI, 2020). O potencial de contribuição para rastreabilidade nas cadeias de suprimentos de alimentos dos sistemas baseados em BCT são consideráveis, através de bancos de dados descentralizados, ausência de intermediários, simplificação e integração (FRIEDMAN; ORMISTON, 2022). Agregando ainda, a coleta e armazenamento automatizado das informações, trazendo possibilidade analíticas dos dados, estratificações e correlações, ao invés do tradicional apontamento no papel realizado por humanos.

1.2 BLOCKCHAIN E SUA APLICAÇÃO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE ALIMENTOS

1.2.1 Conceitos Gerais da Tecnologia Blockchain

O *Blockchain* é umas das tecnologias mais faladas das últimas décadas. Porém, o termo em si, não é novo. Surgiu em 2008 quando o sistema foi desenvolvido por Satoshi Nakamoto para um problema exclusivo das moedas digitais. Nakamoto criou o *Bitcoin* e o construiu como um sistema de dinheiro eletrônico ponto a ponto que usa assinatura eletrônica para validar cada transação. E o *Blockchain* é justamente o “livro caixa” (*Ledger* em inglês) onde as informações digitais ficam

registradas, trazendo transparência e visibilidade para as transações monetárias (FRIEDMAN; ORMISTON, 2022). O *Bitcoin*, ainda hoje, é a principal aplicação do BCT, mas não é a única.

Blockchain é um sistema compartilhado e imutável que facilita o processo de registro de transações e rastreamento de ativos em uma rede. Tharatipyakul e Pongnumkul (2021, p. 82910, tradução nossa) definiram *Blockchain* como "[...] uma técnica para armazenar registros vinculados criptograficamente entre partes em uma rede ponto a ponto para evitar adulteração de registros."

Em outras palavras, Pandey, Pant e Snasel (2022, p. 2, tradução nossa) definiram *Blockchain* como

> um registro compartilhado, imutável e distribuído de informações que mantém um registro de transações. É uma rede peer-to-peer na qual os nós de diferentes redes estão conectados, mas não confiam uns nos outros. O ledger de cada nó mantém um controle das transações e garante que elas estejam sempre sincronizadas.

Em um sistema BCT, os blocos são as transações entre dois participantes e os computadores são os "nós" (*Peer* em inglês). Um ponto de segurança importante destes sistemas são a criptografia dos dados, além de que toda alteração de um bloco necessita ser aceita pelo outro bloco. Patelli e Mandrioli (2020) consideram 4 principais vantagens do BCT: descentralização, segurança, imutabilidade e transparência.

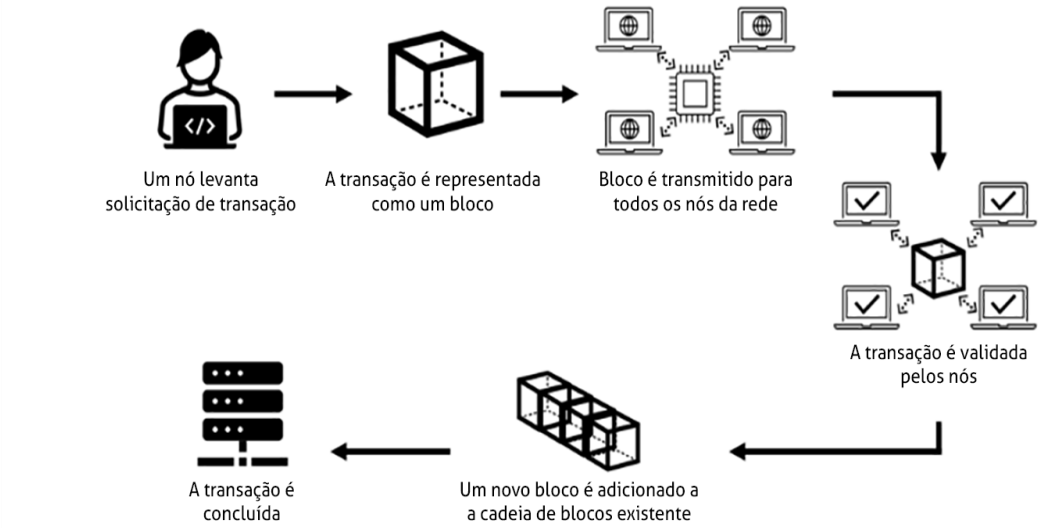
O BCT possui três etapas básicas de funcionamento: (i) Criptografia: dados criptografados entre participantes e que só permitem ser quebrados por usuários autorizados; (ii) *Ledger*: este bloco de dados criptografados são bloqueados, protocolos que evitam que sejam modificadas; (iii) Contratos inteligentes: os blocos são vinculados a blocos anteriores por chaves de códigos matemáticos que criam regras, penalidades e ações a serem aplicadas automaticamente às partes envolvidas criando assim um *Blockchain* (FRIEDMAN; ORMISTON, 2022; THARATIPYAKUL; PONGNUMKUL, 2021).

Varavallo *et al*. (2022) explicam as fases para se registrar transações em BCT (Figura 2):

1. solicitante;
2. representação online da transação em bloco;
3. A transação é enviada para rede "*peer to peer*" (nó para nó);

4. a rede de nós valida a transação e a identidade do usuário através de algoritmos;
5. o novo bloco é adicionado ao *Blockchain* existente de forma permanente e inalterável;
6. finalização da transação.

Figura 2- Etapas para registro de transações na rede *Blockchain*



Fonte: Adaptado de VARAVALLO *et al*. (2022, p. 3).

Principais características do BCT incluem: Descentralização, Impessoalidade; Anonimato; Não há restrições de participantes; Autonomia; Propriedade e exclusividade; Irreversibilidade e Persistência; Imutabilidade; Transparência; Auditoria; Procedência; Resistente à censura; Código aberto (THARATIPYAKUL; PONGNUMKUL, 2021).

Zhao *et al*. (2019) ressaltam que mais de 80% dos artigos científicos abordam o *Blockchain* com foco no sistema *Bitcoin*, e somente menos de 20% lidam com outras aplicações da BCT. Entretanto, a BCT é rápida e vem avançando e se desenvolvendo, e criando uma enorme oportunidade de ampliar suas aplicações. Os autores também estimaram que o mercado BCT cresceria de $210,2 milhões de dólares para $2.312,5 milhões de dólares no período de 2016 a 2021, com base no Relatório de Oportunidade Global, ainda sem atualização do dado para 2022.

1.2.2 Aplicações Gerais de Blockchain na Cadeia de Suprimentos de Alimentos

É notório o aumento do interesse acadêmico em pesquisar a aplicação da BCT na gestão de cadeias de suprimentos. A tecnologia tem se mostrado como uma solução de futuro para a cadeia de alimentos especialmente para indústria 4.0 (ZHAO *et al*., 2019).

Stranieri *et al.* (2021), porém destacam que são raros estudos na área agroalimentar com experiências práticas demonstrando os benefícios da nova tecnologia. E os benefícios que já foram apresentados estão relacionados à melhor gestão da cadeia de suprimentos, atributos de qualidade dos alimentos e resultados econômicos das empresas. Apontam também o papel do BCT para garantir da autenticidade dos produtos de denominação de origem protegida (DOP) / Indicação Geográfica Protegida (IGP) em relação à origem da matéria-prima e às informações sobre o processo de produção, o que ajuda as empresas de alimentos a conter fraudes alimentares e preservar a reputação da marca e da empresa.

Feng *et al*. (2020) consideram que a importância do BCT para cadeia de alimentos vai desde a redução do desperdício de alimentos, até em agilizar as operações logísticas e melhorar o acesso direto dos consumidores as informações de produto.

Outra aplicação de *Blockchain* indicada por Kamilaris, Fonts e Prenafeta-Boldú (2019) é a medição e o monitoramento da qualidade dos grãos, em que são controladas as boas condições de armazenamento, sem contaminação ou impurezas etc. Com o processo de garantia de qualidade e maior confiabilidade, obteve-se uma valorização adicional de 15% no preço de venda dos grãos tipo exportação.

Zhao *et al*. (2019) realizaram uma revisão sistemática da literatura para avaliar a BCT e as principais aplicações na cadeia de suprimentos agroalimentar, e concluiu que, atualmente as principais aplicações são: segurança da informação, fabricação do alimento, e gestão sustentável da água e rastreabilidade.

Para Segurança da Informação, Zhao *et al*. (2019) reforçam que o advento da Indústria 4.0 foi importante para uma transformação digital dos sistemas de informação da cadeia agroalimentar. Com coletas de dados informatizadas e o com o avanço da *Internet of things* (IoT), com tradução para Internet das coisas, o *Cisco Annual Internet Report (2018–2023)* (Relatório Anual da Cisco na Internet) estima que as conexões máquina - para - máquina (M2M) crescerão de 33% em 2018 para 50%

em 2023 e serão 14,7 bilhões de conexões M2M até 2023 (CISCO, 2018). Cada vez mais participantes da cadeia estão sendo equipados com dispositivos eletrônicos interconectados, protocolos para aumentar a conectividade e recursos sofisticados de coleta e análise de dados. Zhao *et al*. (2019) reforçam que em 2019, cerca de 50% dos atores agroalimentares já estavam usando a BCT, e 17% estavam se preparando para implantá-la e usá-la em seus negócios. A BCT tem benefícios inerentes, como o registro de transações em tempo real, sem intermediários, imutabilidade, e tem se tornado uma boa escolha. E após pesquisas sobre plataforma de nuvem baseada em *Blockchain*, os autores concluem que BCT tem um ganho no aumento da segurança e qualidade dos produtos agroalimentares.

Já na etapa da indústria de alimentos, a BCT pode ser usada no gerenciamento de produção, dados de fabricação, informações analíticas de produto e de processo, dados de segurança e qualidade do produto, controle de laudos de materiais e produto acabado. No mesmo estudo Zhao *et al*. (2019) consideram que devido ao grande número de informações, a maioria dos fabricantes de alimentos encontra dificuldades de gerenciá-los sozinhos e afirma que os fabricantes de alimentos precisam trabalhar juntos. Estudos propuseram uma estrutura descentralizada para gerenciar o conhecimento e os serviços compartilhados entre diferentes empresas com base na aplicação *Blockchain* envolvendo contratos inteligentes e computação de ponta. Os resultados demonstram que as indústrias podem desenvolver sistemas flexíveis com baixo custo. Um modelo proposto de dados de fabricação baseado em BCT usando armazenamento em nuvem, resolveu os problemas de compartilhamento, recuperação e segurança dos dados de produto, garantindo maior segurança e qualidade do alimento.

O *Blockchain* pode ajudar a aumentar a conscientização sobre as características ambientais dos alimentos produzidos com a gestão dos recursos hídricos. A degradação da terra, do solo e da água onde se produz os alimentos é um problema crucial desta cadeia (KAMILARIS; FONTS; PRENAFETA-BOLD´Y, 2019). Sabe-se que a produtividade agrícola é altamente dependente da água, e o uso racional deste recurso é primordial para o desenvolvimento agrícola. Zhao *et al*. (2019) destacam o desenvolvimento de uma plataforma de negociação de pares a pares a baseada em BCT que permite a participação de vários irrigadores, e aloca o recuso água de forma segura e transparente, aumentando a eficiência geral do manejo dos recursos hídricos. Apesar do alto custo da plataforma, os autores acreditam que o

BCT combinado com contratos inteligentes ajudará as concessionárias de água e aos governos a obterem dados em tempo real sobre mercado, padrões de consumo, gerenciamento de contas de serviços públicos, aumentando a transparência e mantendo os registros e dados históricos.

E por fim, no item 1.3 a rastreabilidade baseada em *Blockchain* será abordada considerando sua aplicação na etapa de transporte da cadeia de alimentos.

1.3 RASTREABILIDADE BASEADA EM *BLOCKCHAIN* NO TRANSPORTE DE ALIMENTOS

Blockchain é uma tecnologia contemporânea. E é na rastreabilidade que esta tecnologia está sendo aplicada com maior intensidade na cadeia de suprimentos de alimentos. A complexidade da cadeia da fazenda à mesa do consumidor, é um grande desafio para que tenhamos informações confiáveis dos produtos, com transparência, e em tempo real.

Zhao *et al*. (2019) observam que há uma concentração de aplicação do BCT principalmente na etapa de fabricação do produto. Bhutta e Ahmad (2021) consideram que a revolução industrial demandou que as indústrias produzissem taxas muito altas para atenderem seus consumidores, causando uma vulnerabilidade para o restante da cadeia de suprimentos, principalmente no transporte ao longo da cadeia. Somando-se a isto, mais fatores impactaram negativamente nas entregas dos bens ao seu destino; como por exemplo; os desastres naturais, pandemias como a do Coronavírus (COVID-19), condições geográficas locais ou regionais, políticas públicas e, normas que afetem FSC. Estes desafios reforçam a necessidade de que as partes interessadas da cadeia, incluindo agricultura, produtores, empresas, consumidores e terceirizados, busquem soluções tecnológicas em conjunto.

Como já citado na introdução, a FAO (2017) estabelece que um sistema de rastreabilidade identifique o produto por completo na FSC, incluindo seu transporte. E tendo em vista que a cadeia de suprimentos de alimentos se alonga a cada ano, e que a quantidade e variedades de alimentos transportados no mundo de um ponto a outro aumentam cada dia mais, temos um complexo sistema de transporte de alimentos. Com uso de múltiplos tipos de recipientes, inúmeros controles de temperaturas, diversas especificações de manuseio para cada tipo de alimento, tem-se uma maior complexidade que, se não for controlada podem resultar em um aumento de contaminações durante a etapa de transporte e consequentemente, entregar a

indústria de alimentos um produto que oferece risco ao consumidor (ACKERLEY; SERTKAYA; LANGE, 2010).

Blockchain tem o potencial de transformar a logística dos negócios de alimentos, afirmam Pandey, Pant e Snasel (2022). A comunidade da logística, pouco a pouco, tem percebido o quão profundamente o *Blockchain* pode afetar seu setor. Hackius e Petersen (2017) realizaram um estudo com os profissionais de logística de vários setores, não somente de alimentos; para entenderem barreiras e facilitadores do *Blockchain* na logística. Eles descobriram que grande parte dos respondentes é otimista em relação a aplicação da nova tecnologia e conhecem os seus benefícios, considerando a plataforma como necessária para renovação econômica do setor. Entretanto, o *Blockchain* só era conhecido por alguns especialistas da logística; entretanto os operadores logísticos – principalmente pequenas e médias empresas - declararam ter pouco conhecimento sobre *Blockchain*. O que, segundo os autores, pode ser explicado pela carência de estudos de casos empíricos que demonstrem os benefícios do BCT.

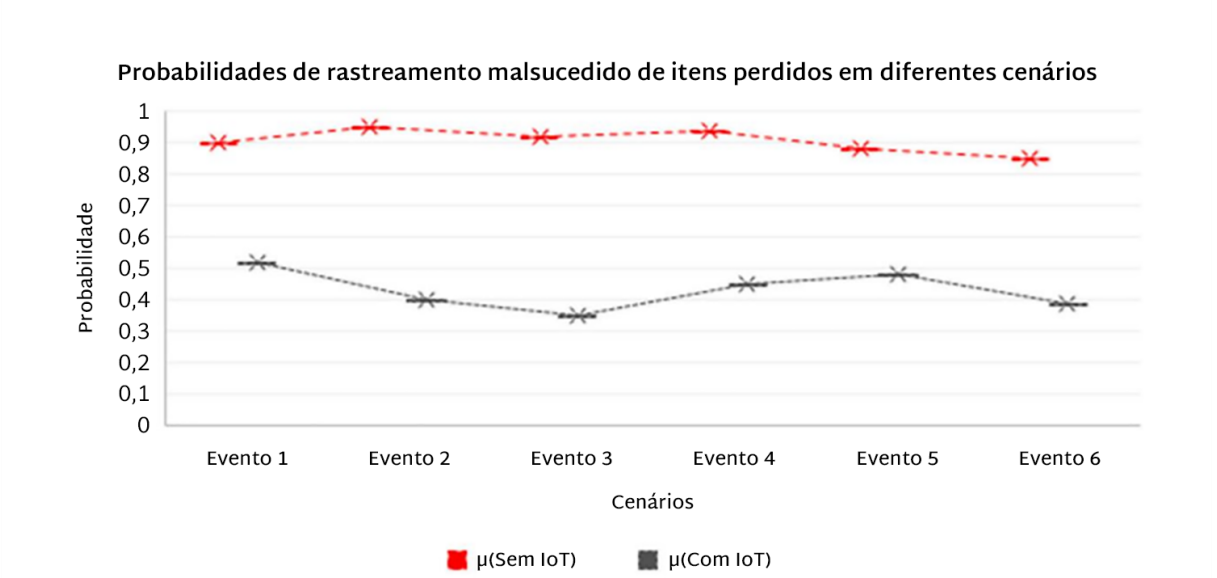
A rede de supermercados Walmart foi pioneira na adoção do *Blockchain* em suas cadeias de suprimentos. Os estudos de caso para a carne suína chinesa e manga mexicana, demonstraram o quão a nova tecnologia poderia transformar as rastreabilidades. A empresa levava 6,5 dias para rastrear a manga do supermercado a fazenda no método tradicional de rastreabilidade e, com a implementação do BCT, as informações de rastreabilidade estavam disponíveis em segundos. São resultados como este, que fizeram os analistas de negócios em 2019 estimarem em 14 bilhões de dólares americanos o valor do mercado de rastreabilidade de alimentos (KAMILARIS; FONTS; PRENAFETA-BOLD´Y, 2019).

Pandey, Pant e Snasel (2022) em outro estudo, asseguram que é necessário que a cadeia de suprimentos passe por transformações para ampliar o uso da BCT. Após analisarem várias publicações, reforçam a necessidade de padronizar coleta, análise e armazenamento de dados para minimizar as falhas até o consumidor. Com isto, a integração do *Blockchain* com a IoT tem-se mostrado importante para conferir agilidade e confiabilidade ao rastreamento. Soluções informatizadas para o transporte; como por exemplo: armazenamento em nuvem, códigos QR (*QR Code*), Radiofrequência - *Radio Frequency Identification* (RFID), tecnologia de troca de dados sem fio - *Near Field Communication* (NFC), certificação online e assinaturas digitais etc.; são importantes para promover a digitalização, e úteis para monitorar os

processos de entrega em cada etapa da cadeia do produtor para o consumidor.

Além do mais, a partir de dados confiáveis do embarque, movimentações e desembarque dos produtos e insumos, é possível fornecer alimentos ainda mais seguros, com rastreabilidade em tempo real atendendo as expectativas do novo mercado consumidor (BHUTTA; AHMAD, 2021).

Figura 3 - Probabilidades de rastreamento mal-sucedido com cenário convencional e baseado em IoT



Fonte: Adaptado de BHUTTA; AHMAD (2021, p. 65670)

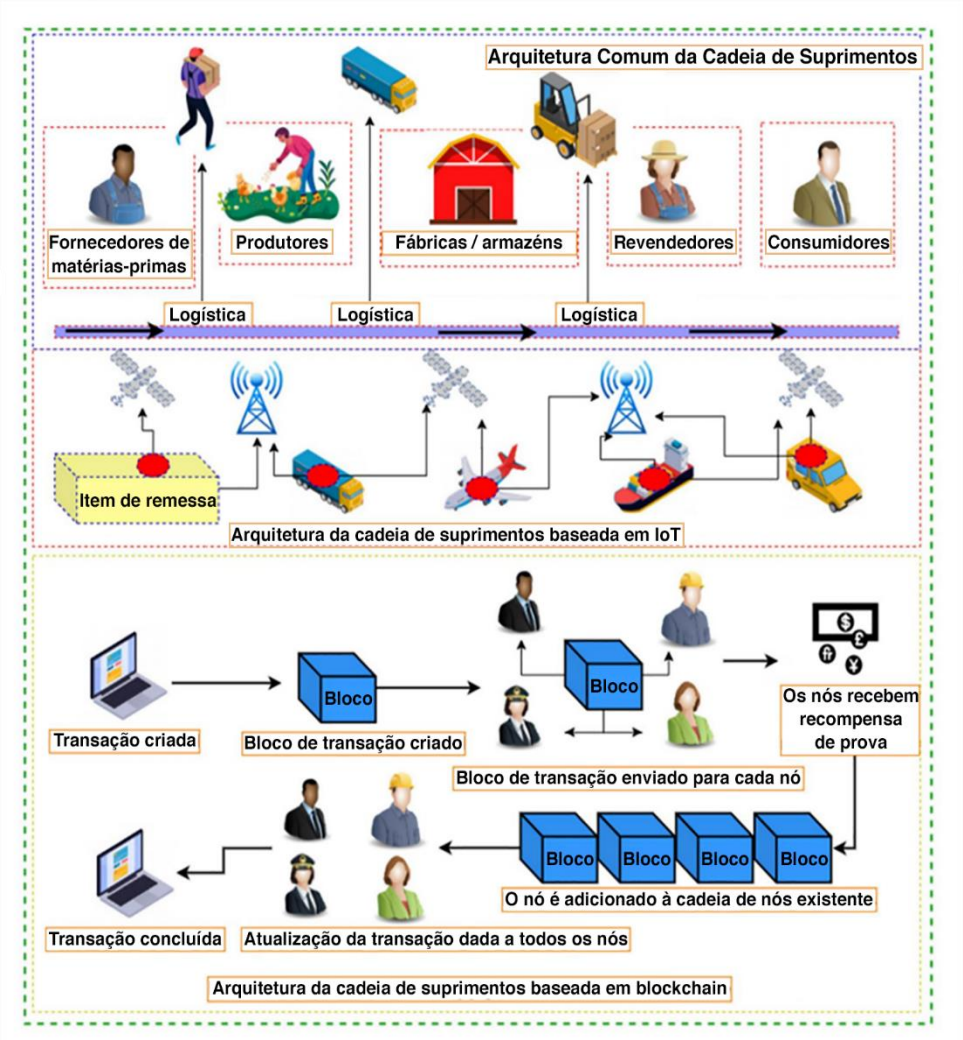
A Figura 3 representa dois cenários de rastreabilidade convencional e baseado em *Blockchain* e Internet das coisas. E demonstra que a probabilidade é alta de ser ter um rastreamento mal-sucedido pelo meio tradicional com intervenção humana.

O estudo realizado por Bhutta e Ahmad (2021), exemplifica bem a digitalização da cadeia de suprimentos de alimentos suportada pela BCT e IoT. No artigo, os autores propuseram uma estrutura de cadeia de suprimentos confiável, possível de ser auditada e rastreável, que garantisse a integridade, imutabilidade e transparência das transações logísticas de alimentos perecíveis. No sistema proposto cada item foi registrado no embarque com etiquetas de identificação digital individual e equipada com sensores para rastreamento do produto durante toda a entrega. Com base em estruturas de *Blockchain* foram realizados monitoramentos e fornecidos

relatórios seguros em tempo real, e ainda com baixo custo, demostrando sua viabilidade para substituir os sistemas convencionais de rastreabilidade.

A Figura 4, Bhutta e Ahmad (2021) ilustra o sistema proposto, o fluxo no primeiro nível (de baixo para cima) os dados foram estruturados representando os “nós” do sistema. Cada computador contém informações das transações incluindo identificação do bloco, codificação, endereço do próximo bloco de transação na cadeia, informações de qualidade, data e hora e outras informações necessárias para aquela operação. Em um segundo nível, as soluções de IoT arquitetadas para serem aplicadas na conexão das variadas formas de transporte, demonstrando também a aplicabilidade intercontinental da tecnologia. E no terceiro nível as etapas da cadeia de suprimentos de alimentos, da fazenda a mesa, e as etapa logística entremeando todos os elos da cadeia.

Figura 4 - Estrutura conceitual da SCM adotando IoT e BCT



Fonte: Adaptado de BHUTTA; AHMAD (2021, p. 65665)

Bumblauskas *et al*. (2020) realizaram outro estudo que demonstra a implementação da BCT no sistema de produção e entrega da cadeia de ovos da fazenda ao consumidor no Centro-Oeste dos EUA. Neste estudo eles complementam a importância do uso do *Blockchain* para rastreabilidade de alimentos na cadeia de suprimentos com a possibilidade de se monitorar as condições para conformidade e qualidade do produto. O produto ovo foi usado como exemplo, porque produtores e processadores são obrigados por lei a manter níveis de temperatura abaixo de 7,2° C para ovo não pasteurizado, também tem o parâmetro umidade, que apesar de não ser um requisito legal é importante para garantir a qualidade final do produto. Foram usados sensores de temperatura e umidade para rastrear data, hora, localização e proximidade dos pontos de entrega para contribuir com dados de toda cadeia. Com a automação e a coleta de dados, o risco de falhas é diminuído facilitando a conformidade com os parâmetros, no caso de temperatura e umidade, em tempo real para a aprovação do produto (BUMBLAUSKAS *et al*., 2020).

Outro aspecto relevante, levantados por Qian *et al*. (2022), é a possibilidade de coletar informações no transporte que contribuem para garantir a qualidade e segurança dos alimentos. No caso das matérias-primas fluídas/ granuladas transportadas por caminhões tanques e containers, o monitoramento do uso de recipientes diferentes para transporte e a limpeza completa entre os lotes, é extremamente relevante, pois impactam diretamente na contaminação microbiológica, química e física dos alimentos transportados. Caminhões tanques e containers podem transportar lotes de mesmo produto ou diferentes tipos de matérias primas em um mesmo circuito logístico, o que faz do processo de limpeza completa dos recipientes e sanitização, uma etapa fundamental para garantir que não haverá contaminação cruzada entre os produtos.

Qian *et al*. (2022) notam também a relevância da limpeza para separação de lotes de produtos com requisitos religiosos, como certificados Kosher e Halal, ou produtos com certificações de origem dos produtos DOP/IGP. No entanto, os autores ressaltam que, os processos de limpeza, na maioria dos casos, representam alto custo devido ao consumo abundante de água, energia, químicos e mão de obra para execução.

Neste novo contexto do mercado de alimentos, os consumidores consideram que, a garantia da qualidade e a segurança do produto asseguradas por uma rastreabilidade tecnológica e moderna, são decisivas durante a compra de um

produto alimentício, e estão dispostos a pagar um preço maior por isto. Um estudo de caso apresentado por Bosona e Gebresenbet (2013) com uma amostra de 104 consumidores de sanduiche de carne bovina no Canadá, demonstrou que os consumidores estavam dispostos a pagar até 7% do valor produto somente pelo sistema de rastreabilidade (da fazenda a mesa), sem outros adicionais de qualidade e segurança. Estes mesmos consumidores, se dispuseram a pagar até 40% a mais quando se associa a rastreabilidade as questões de qualidade e segurança de produto.

1.3.1 Principais Desafios Relacionados a Segurança dos alimentos no Transporte

O aprendizado sobre o uso de novas tecnologias baseadas em *Blockchain* para rastreabilidade no transporte de alimentos, ilumina muitas outras possibilidades para garantirmos a segurança e integridade dos alimentos.

É importante, dentro deste contexto, diferenciarmos dois conceitos importantes: *Food Safety* (Segurança dos alimentos) e *Food Security* (Segurança Alimentar).

Segundo a OMS, a Segurança Alimentar está em promover o acesso a quantidades suficientes de alimentos seguros e nutritivos para sustentar a vida e promover a boa saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022).

E considera que a Segurança dos alimentos está em fornecer alimentos seguros, que não contenham bactérias, vírus, parasitas ou substâncias químicas prejudiciais causam danos à saúde e podem levar a um ciclo vicioso de doenças e desnutrição, afetando particularmente bebês, crianças pequenas, idosos e doentes. A OMS reforça a necessidade de boa colaboração entre governos, produtores e consumidores para ajudar a garantir a segurança dos alimentos e sistemas alimentares mais desenvolvidos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022).

Para Kamilaris, Fonts e Prenafeta-Boldú (2019), a segurança dos alimentos é a condição de processamento, gerenciamento e armazenamento de alimentos em boas condições higiênicas, em ordem a prevenir ocorrências que afetem a saúde da população humana. Para eles, a segurança dos alimentos e a garantia de qualidade são temas desafiadores em épocas de crescimento dos fluxos globais de mercadorias.

Segundos dados do setor de *recall*/retirada de mercados/alertas de segurança dos alimentos do FDA, de janeiro 2019 até hoje, já ocorreram 515 casos de *recall* nos EUA considerando os casos já concluídos. Dentre os eventos, *undeclared* (materiais não declarados) e *microbiological contamination* (contaminação microbiológica) são disparadas as principais causas dos acidentes alimentares. *Undeclared* segundo descrito pelo próprio órgão, está ligado a contaminação cruzada por materiais alergênicos (Leite, amendoim, glúten, soja, nozes em geral (inclui castanhas, avelãs, amêndoas etc.), ovo, peixe e crustáceos), na prática, normalmente associadas a falhas de limpeza, contaminação cruzada e armazenamento incorreto. Já *microbiological contamination*, trata-se da contaminação por microrganismos patogênicos e/ou deteriorantes. Conforme estes mesmos dados do FDA, as principais ocorrências estão relacionadas a duas bactérias principais: *Listeria monocytogenes* e *Salmonella*; dois grandes causadores de intoxicações alimentares (U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2022).

Bosona e Gebresenbet (2013) reforçam que além dos riscos à saúde do consumidor, as crises alimentares, levam as empresas a crises econômicas devido aos danos à reputação e a marca. O custo de um recall público pode levar a falência das marcas e, consequentemente das empresas. Por isto, os controles de segurança dos alimentos somados a rastreabilidade confiável e transparente é tão importante nas cadeias de alimentos contemporâneas.

Ackerley, Sertkaya e Lange (2010) afirmam que, atualmente há muitos poucos estudos sobre o estado do transporte de alimentos. E apesar dos dados sobre as falhas de segurança dos alimentos relacionados as práticas de armazenamento e transporte sejam limitadas, as experiências do setor indicam que os incidentes alimentares estão subnotificados.

O FDA em um trabalho em conjunto com os autores Ackerley, Sertkaya e Lange (2010) demonstraram que o setor de transporte de alimentos possui muitos desafios relacionados a segurança dos alimentos. Eles realizaram um estudo para coletar dados atuais sobre os riscos de segurança alimentar e controles preventivos associados ao transporte e armazenamento de produtos alimentícios, através da aplicação do método Delphi.

O método Delphi é método estruturado para obter e combinar a opinião de especialistas, a partir de um painel de especialistas reconhecidos na temática de segurança no transporte de alimentos. Teoricamente, o objetivo do Delphi é chegar a

um consenso após algumas rodadas; na realidade, isso raramente acontece. Assim, ao final das rodadas Delphi, os julgamentos finais dos especialistas são normalmente combinados matematicamente por análise fatorial (ACKERLEY; SERTKAYA; LANGE, 2010).

No estudo, os especialistas identificaram 15 perigos de segurança alimentar (riscos microbiológicos, químicos e/ou físicos) durante o transporte de alimentos, que serão detalhados posteriormente no capítulo 3 resultados. Além disso, foram considerados os riscos por categorias de produtos alimentícios e todos os tipos de transporte em que podem ser aplicados. E após, aplicações de análises fatoriais, com base nas classificações de risco de frequência e gravidade, listaram os cinco principais perigos de segurança dos alimentos que mais preocupam o setor, conforme Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Principais Perigos para Segurança dos alimentos no Transporte

Principais Perigos para Segurança de Alimentos no transporte	
1	Falta de segurança do produto
2	Práticas inadequadas de retenção do alimento que aguardam embarque e/ou inspeção
3	Controles de temperatura
4	Contaminação cruzada
5	Práticas, condicionamento ou equipamentos incorretos de carregamento.

Fonte: Elaborado pela autora baseado em Ackerley, Sertkaya e Lange (2010).

Paralelamente, uma pesquisa realizada nos EUA por um fornecedor de serviços logísticos terceirizados constatou que: 63,5% dos entrevistados terceirizam parte ou a totalidade de seu transporte; e 58,3% dos entrevistados indicam fazer *backhauling* (implica planejar viagens de ida e volta, com uso de uma carga diferente no caminhão vazio em uma viagem de retorno), o que aumenta o risco de contaminação cruzada entre os alimentos sem que seja realizado uma limpeza e sanitização adequadas do meio de transporte ou recipiente de armazenamento (ACKERLEY; SERTKAYA; LANGE, 2010).

Tendo em vista que o modelo tradicional de rastreabilidade de transporte não é capaz de entregar segurança dos alimentos, transparência e rastreabilidade em tempo real (DEMESTICHAS *et al*., 2020), o *Blockchain* tem então possibilidade de apresentar-se como uma ferramenta extremamente eficaz e que tem enorme potencial para fazer mudanças permanentes nos modelos tradicionais de rastreabilidade do transporte, migrando para um modelo mais moderno, rápido, transparente e seguro, promovendo mais segurança dos alimentos (PANDEY; PANT; SNASEL, 2022).

Por outro lado, segundo Demestichas *et al*. (2020), o consumidor moderno também está extremamente preocupado com a procedência e qualidade do seu alimento, estando disposto a gastar mais dinheiro por produtos com origem e cadeia certificáveis.

Os principais perigos definidos por Ackerley, Sertkaya e Lange (2010), associados as demais análises deste estudo serão adaptados e aplicados no estudo de caso da ferramenta Bulkvision ® para analisarmos sua contribuição para segurança dos alimentos na rastreabilidade por BCT no transporte, no capítulo 3 de resultados deste estudo.

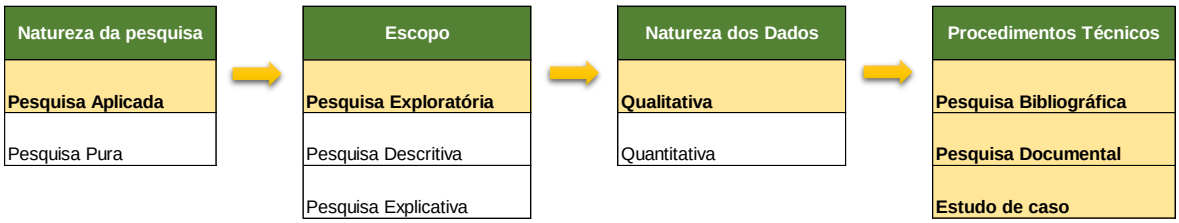
2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para atingir ao objetivo proposto no trabalho de analisar a contribuição de um sistema de rastreabilidade baseado na BCT aplicado ao transporte para aumentar a segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos de alimentos foi realizada a análise do método mais adequado de pesquisa.

A análise de método foi redigida seguindo as considerações de Yin (2014) pela sua abordagem acerca das pesquisas qualitativas exploratórias por método de estudo de caso de uso comum na administração. E seguindo classificações de pesquisa e planejamento para pesquisas exploratória proposto por Gil (2017) conforme Figura 5 abaixo.

Figura 5 - Enquadramento metodológico



Fonte: Baseado em Gil (2017) e Yin (2014)

Conforme Gil (2017), a natureza dessa pesquisa é considerada “aplicada” pois busca produzir conhecimentos que possam ser utilizados na resolução de problemas reais relevantes para a sociedade, academia e indústria. É uma pesquisa exploratória, pois tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com a situação problema e construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Destaca-se que embora o planejamento da pesquisa exploratória seja bastante flexível, na maioria dos casos assume a forma de pesquisa bibliográfica OU de estudo de caso, que é o caso deste estudo.

Quanto a natureza dos dados, a abordagem do trabalho é qualitativa, pois possui uma perspectiva desvinculada da representatividade numérica para estudar as explicações dos fenômenos e processos que não podem ser reduzidos à

operacionalização de variáveis (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). A obtenção de dados deu-se a partir de uma pesquisa bibliográfica, qualitativa, utilizando da revisão da literatura tradicional e estudo de caso.

Assim, tendo em vista que o tema é novo e a contextualização é necessária, o trabalho foi dividido em duas etapas principais quanto aos procedimentos técnicos: a pesquisa bibliográfica, com o método de análise bibliográfica, cujo procedimento será analisado na seção dos resultados; e um estudo de caso. Para a composição da base de dados da pesquisa, a utilização da pesquisa bibliográfica foi fundamental.

Gil (2017) ressalta que quase todos os estudos sejam exigidos algum tipo de trabalho de pesquisa bibliográfica, e que as pesquisas que se propõem à análise das diversas concepções acerca de um problema, também costumam ser desenvolvidas a partir de fontes bibliográficas.

Foi utilizada primeiramente o método pesquisa bibliográfica, com o intuito de entender a definição e os conceitos acerca da “rastreabilidade”, “tecnologia *Blockchain*” e da “Cadeia de Suprimentos de Alimentos”, além da integração de ambas as definições e conceitos com o tema de Segurança dos alimentos, fundamental para temática. Foram selecionados os artigos e delimitados através da análise de título e análise do resumo. Também, a partir da pesquisa bibliográfica foram identificados os desafios para a segurança dos alimentos para um sistema de rastreabilidade de transporte da cadeia de suprimentos de alimentos, para os quais serão analisados no estudo de caso.

Uma pesquisa documental foi realizada para aquisição de informações importantes para a elaboração do estudo de caso. Segundo Gil (2017), a pesquisa documental assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica. A diferença essencial entre ambas está na natureza das fontes, que para pesquisa documental são as mais diversificadas, como relatórios de pesquisa, relatórios de instituições privadas e tabelas estatísticas.

Optou-se pelo estudo de caso como procedimento técnico porque este permite a criação de teorias mais aprofundadas, ao considerar maiores detalhes de um caso em particular, como detalhado a seguir.

2.2 METODOLOGIA ESTUDO DE CASO

Yin (2014) caracteriza o estudo de caso clássico como uma investigação aprofundada de um fenômeno específico e complexo, em seu contexto de mundo real. Ele considera que para se ter um bom estudo de caso, o contexto deve ser explorado e não limitando-se ao caso. Tem -se que:

> O estudo de caso é uma investigação empírica que:
> • investiga um fenômeno contemporâneo (o "caso") em profundidade e em seu contexto de mundo real, especialmente quando
> • os limites entre o fenômeno e o contexto puderem não ser claramente evidentes (YIN, 2014, p.17).

Segundo Gil (2017) o estudo de caso demanda um estudo profundo e exaustivo do objeto de pesquisa, buscando o amplo e detalhado conhecimento.

Os estudos de casos podem ser desenvolvidos como único ou múltiplos. Ridder (2017) descreve que as vantagens potenciais para um estudo de caso único são as descrições e análises detalhadas para compreender melhor "como" e "por que" as coisas acontecem; observando as causas mais profundas do fenômeno. Já vantagens potenciais da pesquisa de estudo de caso múltiplo estão no cruzamento dos casos que podem revelar semelhanças e diferenças e como elas afetam os resultados.

A escolha por esse método é pertinente quando busca-se investigar um fenômeno contemporâneo complexo, o estudo de caso deste trabalho será sobre a ferramenta Bulkvision®, que usa a BCT para rastreabilidade de transporte na cadeia de suprimentos de alimentos. Desenvolvida pela ENFIT International Association - Supply Chain Safety (ENFIT) em parceria com Bulkvision GmbH, com sede em Hamburgo – Alemanha, é a primeira plataforma com base *Blockchain* com armazenamento na nuvem para rastreabilidade em tempo real durante o transporte de produtos químicos, alimentos ou ração animal, que oferece às partes interessadas envolvidas uma visão geral completa da cadeia de suprimentos, além de controlar os padrões de higiene durante o transporte através de certificados internacionais de limpeza.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos por este trabalho estão apresentados em três tópicos dando resposta aos objetivos da pesquisa: (i) pesquisa bibliográfica; (ii) adaptação dos perigos para segurança dos alimentos no transporte para sistema de rastreabilidade por *Blockchain*; (iii) aplicação dos desafios na ferramenta Bulkvision ® como estudo de caso.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica é definida por Gil (2017) como a pesquisa desenvolvida a partir do material científico já elaborado como artigos científicos e livros. Os estudos exploratórios são definidos em grande parte como pesquisas bibliográficas, pois propõe várias perspectivas acerca de um problema. E tem a vantagem de permitir ao pesquisador uma cobertura mais ampla do que aquela que teria com pesquisas diretas.

Para compreender os conceitos acerca do uso do *Blockchain* na rastreabilidade na cadeia de suprimentos de alimentos, foi utilizada como método a pesquisa exploratória bibliográfica.

As bases selecionadas para a pesquisa foram *Web of Science* e a *Scopus*, que conforme definido por (ZHU; LIU, 2020) são as principais plataformas utilizadas para pesquisas bibliográficas no Brasil. Estas bases possuem uma maior abrangência de indexação e, portanto, são as bases que apresentaram um número mais elevado de documentos após o teste com as palavras-chaves definidas.

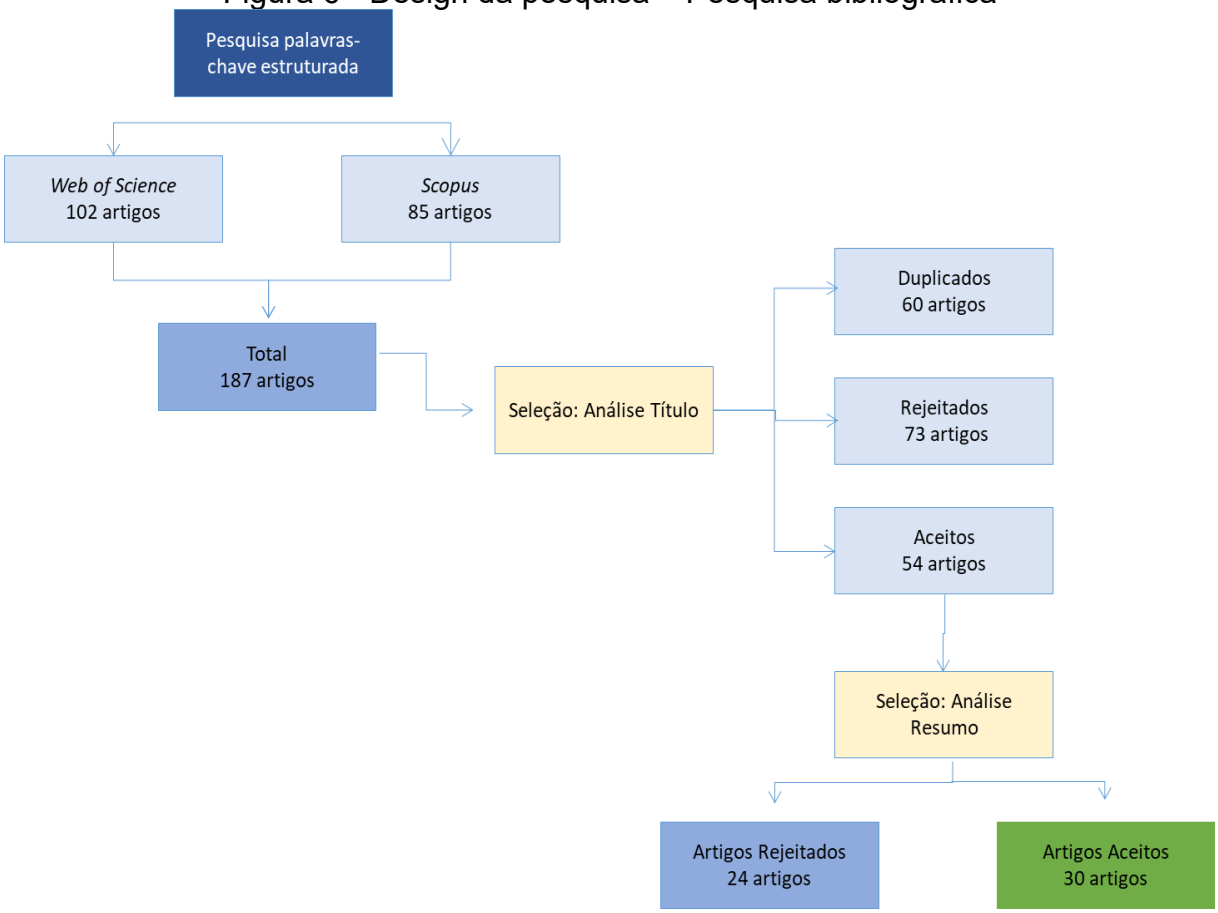
O Google Acadêmico também foi testado para esta busca, porém optou-se por não utilizar a ferramenta, pois as três bases juntas; *Web of Science*, *Scopus* e Google Acadêmico; resultaram numa ocorrência maior de documentos repetidos, com índice superior a 50% dos documentos apresentavam ocorrência de duplicidade.

Para estruturação das palavras-chaves da pesquisa, primeiramente foi realizada uma pesquisa exploratória nas bases *Web of Science* e *Scopus* no mês de agosto de 2022 com três palavras: “*Blockchain*”, “*Food*”, “*Traceability*”, para entender os principais conceitos acerca da temática e, compor a estrutura de palavras-chave a serem usadas na pesquisa bibliográfica do estudo. Foram encontrados 181 artigos, que foram filtrados por “Número de Citações” com os artigos mais citados em

evidência; os 5 primeiros documentos foram selecionados para sondagem das palavras-chave mais recorrentes. O resultado desta análise inicial, compôs a estruturação das palavras chaves definidas para a pesquisa bibliográfica deste trabalho: *Blockchain*; "*Food Supply Chain*"; *Traceability*; sendo a expressão *Food Supply Chain* entre aspas.

A partir daí, foram seguidos os passos metodológicos embasados na pesquisa de Gil (2017) que estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Design da pesquisa – Pesquisa bibliográfica



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No dia 21/08/22 ocorreram as buscas da pesquisa bibliográfica e a definição dos critérios levou em conta o tipo de documento, idioma, palavras-chave e o período das publicações conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios da pesquisa bibliográfica usados nas bases de dados

Tipo de documento	Documentos do tipo Artigos e Artigos de revisão
Idioma	Inglês
Palavras-Chaves	*Blockchain*; “Food Supply Chain” e Traceability
Período	Sem limite de período

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

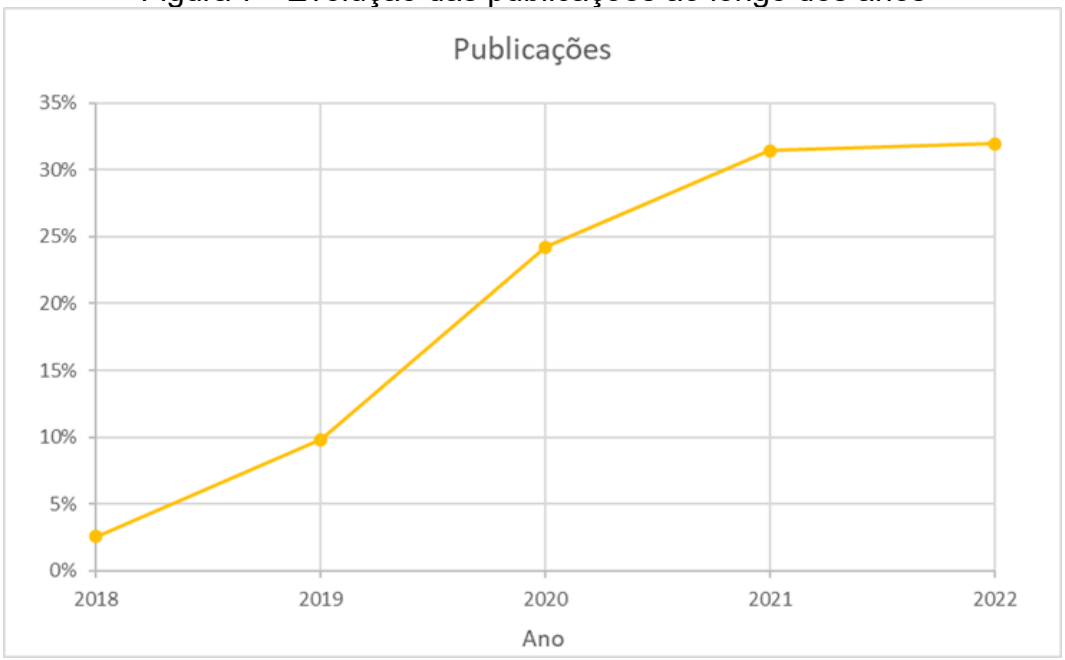
Foram buscadas nos tópicos das bases citadas resultando em: 102 *Web of Science* e 85 *Scopus*, totalizando 187 documentos. Os metadados extraídos das bases de dados pesquisadas foram exportados no formato BibTex, para o software de análise bibliométrica StArt (LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE, 2016) que foi usado para seleção, classificação e priorização dos artigos. Do total de 187 artigos; foram realizadas a análise pelo Título do artigo e 97 documentos foram excluídos, 60 artigos estavam duplicados, o que resultou em 54 artigos selecionados para próxima etapa. Após as análises dos Resumo dos 54 artigos pré-selecionados, finalmente foram considerados 30 artigos para o trabalho.

3.1.1 Análise dos Materiais

Para a análise dos materiais no que se refere aos indicadores bibliométricos: número de artigos, áreas de pesquisas, palavras-chaves mais frequentes e artigos mais citados, foram utilizados os softwares VOSviewer e Excel. Considerado as palavras-chave *Blockchain*, “*food supply chain*” e *traceability* nas duas bases de dados *Web of Science* e *Scopus* com os 187 artigos encontrados na primeira análise exploratória.

Conforme observado na Figura 7, os primeiros artigos foram escritos em 2018 demonstrando assim a atualidade do tema e necessidade de maiores estudos. Do ano de 2018 para o ano de 2022, observa-se que é crescente o interesse dos pesquisadores acerca da aplicação da BCT para rastreabilidade da cadeia de suprimentos de alimentos. O artigo mais antigo publicado, considerando os critérios de pesquisa definidos, foi escrito por Mao *et al*. (2018) na China com o título: *Credit Evaluation System Based on Blockchain for Multiple Stakeholders in the Food Supply Chain* (Sistema de avaliação de crédito baseado na *Blockchain* para múltiplas partes interessadas na cadeia de fornecimento de alimentos).

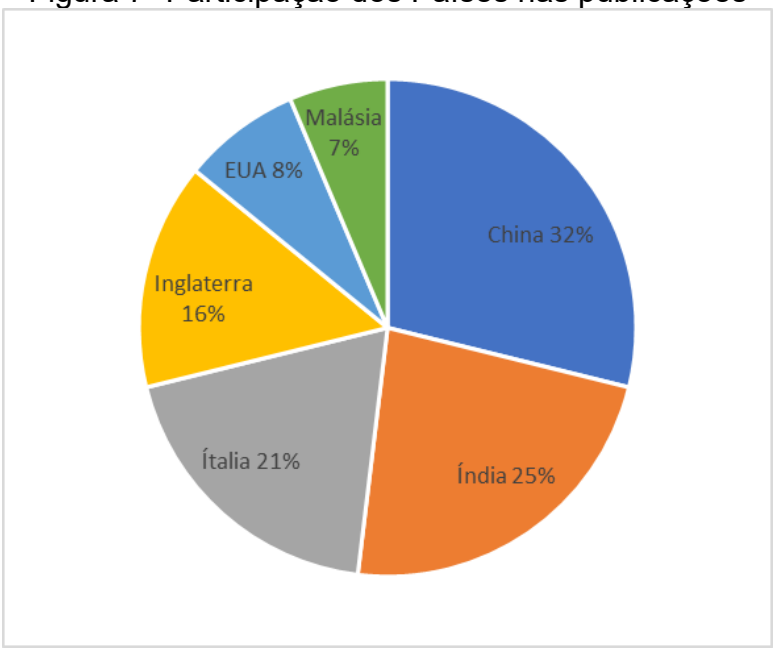
Figura 7 - Evolução das publicações ao longo dos anos



Fonte: Elaborado pela autora (2022) por meio do software Excel.

Outro indicador observado foi a predominância da China como país de origem na aplicação dos artigos com esse tema, cerca de 32%, e nota-se a presença de Índia e Itália a frente do EUA e da Inglaterra para esta temática.

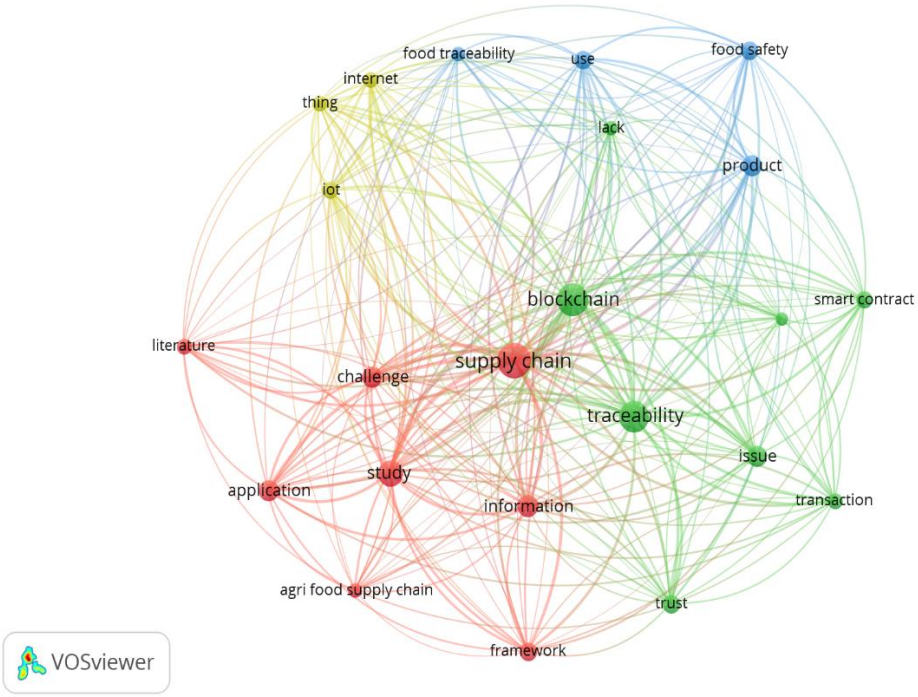
Figura 7- Participação dos Países nas publicações



Fonte: elaborado pelo autor (2022) por meio do software Excel.

Com aplicação do software VOSviewer, podemos analisar as palavras contidas nos artigos e observar as relações existentes com os principais termos do estudo: *Blockchain*; "*Food Supply Chain*", *Traceability*. Na Figura 8 são apresentadas as palavras mais encontradas relacionadas com os termos chave e reforça que a ligação entre as palavras chaves escolhidas para a pesquisa bibliográfica é forte. Já os termos relacionados a área de alimentos; "*food safety*", "*food traceability*" estão ligados à todas as palavras-chave da pesquisa, caracterizando a sua abrangência para temática de pesquisa.

Figura 8 - Análise das palavras contidas nos artigos selecionados



Fonte: elaborado pelo autor (2022) por meio do software VOSviewer.

Um indicador bibliométrico de análise importante refere-se aos artigos mais citados nos termos da pesquisa. Foram selecionados os 3 artigos mais citados, no Quadro 3 abaixo por meio da quantidade de citações do artigo no Google Acadêmico, haja vista essa ferramenta considerar citações globais e não somente as citações das bases de dados usadas para busca.

Quadro 3 - Os 3 Artigos mais citados na base de dados Google Acadêmico

Nº	Título	Autores	Ano Publicação	Revista	Nº de Citações
1	The rise of *blockchain* technology in agriculture and food supply chains	KAMILARIS, A.; FONTS, A.; PRENAFETA-BOLDΌY, F. X	2019	Trends in Food Science and Technology	539
2	Future challenges on the use of *blockchain* for food traceability analysis	GALVEZ, J. F.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J.	2018	TrAC Trends in Analytical Chemistry	494
3	Boundary conditions for traceability in food supply chains using *blockchain* technology	BEHNKE, K.; JANSSEN, M. F. W. H. A.	2020	International Journal of Information Management	334

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O artigo *The rise of Blockchain technology in agriculture and food supply chains* (A ascensão da tecnologia *Blockchain* na agricultura e cadeias de fornecimento de alimentos) de 2019 escrito na Espanha, é o artigo mais influente no campo de estudo, com 539 citações. Este artigo explora o impacto da BCT na agricultura e na cadeia de fornecimento de alimentos, e discute projetos existentes e suas implicações gerais, desafios e potencial. Indicam as barreiras e desafios que impedem uma maior disseminação deste sistema na cadeia de alimentos (KAMILARIS; FONTS; PRENAFETA-BOLDΌY, 2019). Por isto foi amplamente usado neste trabalho.

O segundo artigo mais citado, com 494 citações, é o artigo *Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis* (Desafios futuros sobre o uso do *Blockchain* para análise de rastreabilidade de alimentos) escrito em 2018 por pesquisadores espanhóis na Universidade de Vigo e Ourense, Ourense, Espanha. É uma revisão que examina o potencial da BCT para garantir rastreabilidade e autenticidade na cadeia de suprimentos de alimentos (GALVEZ; MEJUTO; SIMAL-GANDARA, 2018).

E o artigo *Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology* (Delimitações para rastreabilidade nas cadeias de abastecimento de alimentos utilizando a tecnologia *Blockchain*), com 334 citações é terceiro mais citado, e identifica as limitações para implementação do *Blockchain* para rastreabilidade na cadeia de suprimento de alimentos (BEHNKE; JANSSEN, 2020).

Os três artigos mais relevantes para a temática, foram abordados ao longo do capítulo 1 de Referencial Teórico.

3.2 DESAFIOS DE SEGURANÇA DOS ALIMENTOS NA RASTREABILIDADE POR *BLOCKCHAIN* NO TRANSPORTE

Conforme já destacado no capítulo 1, item 1.3 em que foi revisitado na literatura de como a rastreabilidade por *Blockchain* aplicada para transporte de alimentos traz luz a importância da segurança dos alimentos para cadeia de suprimentos, os autores Ackerley, Sertkaya e Lange (2010), desenvolveram um estudo em que listaram os principais perigos para segurança dos alimentos no transporte que serviu de referência para os desafios considerados para este trabalho. Somados também a revisão bibliográfica realizada sobre a temática, foi elaborada a versão adaptada para rastreabilidade.

A partir dos 5 principais perigos listados pelos especialistas em segurança dos alimentos do estudo de Ackerley, Sertkaya e Lange (2010), foram correlacionadas suas descrições no Quadro 4, e complementados com os controles preventivos correspondentes, conforme lista de controle preventivos listados pelos mesmos especialistas no mesmo estudo de Ackerley, Sertkaya e Lange (2010).

E será a partir dos controles preventivos levantados que analisaremos a sua aplicação em uma ferramenta de rastreabilidade por *blockchain*, o Bulkvision®, no próximo item deste estudo.

Quadro 4 – Correlação dos controles preventivos e principais perigos de segurança dos alimentos

Continua

Principais Perigos para Segurança de Alimentos no		Descrição dos Perigos	Controles preventivos sugerido pelos especialistas relacionados aos principais perigos
1	Falta de segurança do produto	falta ou uso inadequado de selos de segurança e falta de verificações de segurança ou registros de transportadores	Medidas de segurança física das instalações e unidades de transporte (fechaduras de carga, lacres numerados, etc.)
			Verificações de segurança e registros de transportadores
			Uso de tecnologias de rastreamento (ou seja, identificação por satélite (GPS) ou radiofrequência)
2	Práticas inadequadas de retenção do alimento que aguardam embarque e/ou inspeção	produto sem supervisão, retenção retardada do produto, embarque do produto enquanto em quarentena, e rotação e produção ruins	Rotulagem e/ou sinalização adequada
			Auditorias de terceiros de sistemas/políticas/procedimentos
3	Controles de temperatura	refrigeração imprópria ou controle de temperatura de produtos alimentícios (abuso de temperatura), inclusive intencional (abuso ou violação de práticas por motoristas, ou seja, desligar unidades de refrigeração) ou não intencional (devido a práticas inadequadas de armazenamento ou falta de contêineres ou embarcações apropriados , etc)	Rastreamento dos dispositivos de monitoramento/registro de temperatura, leitura de temperatura em tempo real.

Quadro 4 – Correlação dos controles preventivos e principais perigos de segurança dos alimentos

Conclusão

Principais Perigos para Segurança de Alimentos no		Descrição dos Perigos	Controles preventivos sugerido pelos especialistas relacionados aos principais perigos
4	Contaminação cruzada	saneamento inadequado, transporte de materiais perigosos, falha na manutenção de registros de lavagem de tanques, descarte inadequado de águas residuais e métodos de fumigação de fosforeto de alumínio no trânsito de vagões	Documentação apropriada que acompanha cada carga (ou seja, registro de lavagem do caminhão-tanque, números dos selos, leituras de temperatura, tempo em trânsito e tempo nas docas, etc.)
			Saneamento/manutenção de unidades de transporte, instalações de armazenamento e/ou contêineres
5	Práticas, condicionamento ou equipamentos incorretos de carregamento.	higienização inadequada do equipamento de carregamento, falha no uso de unidades dedicadas quando apropriado, padrões de carregamento inadequados e transporte de cargas mistas que aumentam o risco de contaminação cruzada	Programas de certificação de fornecedores ou transportadores de alimentos

Fonte: Elaborado pela autora com base em Ackerley, Sertkaya e Lange (2010).

3.3 ESTUDO DE CASO

O presente capítulo apresenta o estudo de caso com a aplicação dos desafios de segurança dos alimentos para o transporte na ferramenta Bulkvision® a fim de avaliar sua contribuição para cadeia de suprimentos de alimentos.

A Bulkvision®, usa a BCT para rastreabilidade do transporte na cadeia de suprimentos de alimentos, foi desenvolvida pela ENFIT em parceria com Bulkvision GmbH, com sede em Hamburgo – Alemanha, a ferramenta, possui armazenamento de dados na nuvem, e rastreia em tempo real o transporte em caminhões tanques e recipientes de alimentos, produtos químicos ou ração animal, e oferece às partes interessadas envolvidas uma visão geral completa da cadeia de suprimentos, incluindo das etapas de limpeza e sanitização.

A ENFIT é uma associação internacional, sem fins lucrativos, que desenvolve normas internacionais e européias para maior segurança e transparência da cadeia de suprimentos. Sua Visão é promover “Uma cadeia de suprimentos segura, confiável e rastreável” (ENFIT INTERNATIONAL ASSOCIATION - SUPPLY CHAIN SAFETY, 2022a, tradução nossa). Elaboram diretrizes que descreve padrões técnicos para transporte de matérias-primas desde a produção primária (agricultura e pecuária, laticínios, grãos e fábricas de sementes etc.) até fabricação final de produtos para os consumidores. Seu documento mais relevante é a Diretriz “ENFIT - Transporte de matérias-primas não embaladas e alimentos em contêineres de transporte internacional”, que descreve padrões sanitário e de qualidade para a realização de transporte seguro de alimentos (ENFIT INTERNATIONAL ASSOCIATION - SUPPLY CHAIN SAFETY, 2022a, tradução nossa).

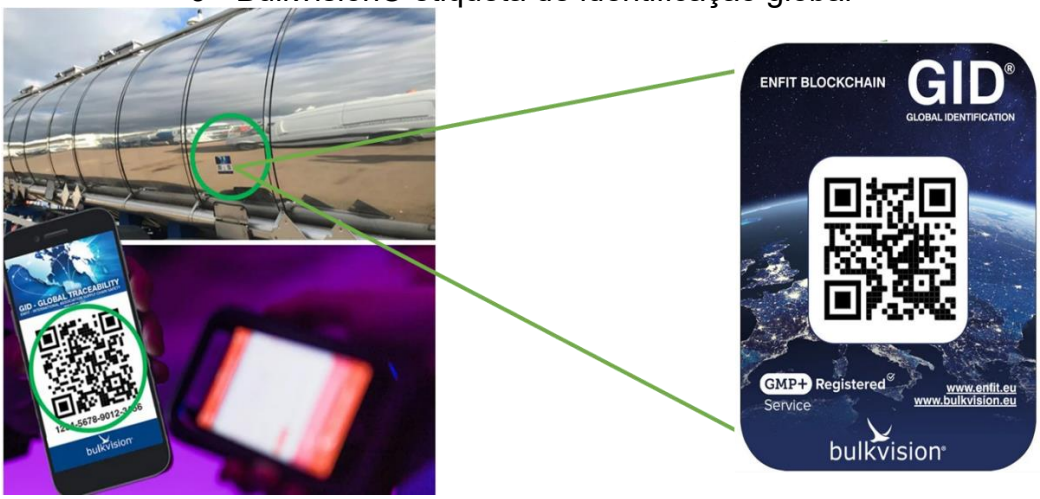
O Bulkvision ® está disponível como software SaaS[1] , e funciona como um software que pode ser baixado em qualquer dispositivo móvel (tablets, smartphones) ou notebook, os usuários registrados podem fazer *upload* ou *download* de dados relevantes e trocá-los entre si em tempo real. Os usuários devem estar registrados, para obter acesso aos dados autorizados. Após o registro, os usuários podem usar a BCT em suas respectivas funções, seja como proprietário da unidade de transporte,

[1] “Software SaaS, ou Software as a Service, é uma forma de disponibilizar softwares e soluções de tecnologia por meio da internet, como um serviço. Com esse modelo, a empresa não precisa instalar, manter e atualizar hardwares ou softwares. O acesso é fácil e simples: apenas é necessária a conexão com a internet. Os aplicativos SaaS também são chamados de softwares baseados na Web, softwares sob demanda ou softwares hospedados.” (SALESFORCE, 2022).

como carregador ou descarregador, transportador, limpeza, depósito, reparo ou inspeção. Com este sistema, a ENFIT e a Bulkvision® também fornecem um certificado de limpeza internacional digital e protegido por *Blockchain* “ECC-ENFIT CLEANING CERTIFICATE” que é protegido por *Blockchain* e a por isto é a prova de falsificação; o que pode oferecer ao setor de carregamento máxima segurança e transparência contendo informações como: Quem realizou a limpeza, onde e em conformidade com qual diretriz; Dados da empresa de limpeza; Local, data e hora (início e fim da limpeza); GID da unidade de transporte limpa; Dados do proprietário; Procedimento de limpeza (por exemplo, procedimento de limpeza ENFIT); Procedimentos de limpeza especiais (por exemplo, limpeza de alergênicos ou Organismo Geneticamente Modificados (OGM), Kosher, Halal); Tempo de duração da limpeza e Resultado da limpeza (por exemplo, teste de higiene para liberação do recipiente). Tanto os certificados quanto as estações de limpeza são auditáveis e certificáveis por organismos certificadores independente (BULKVISION FOOD FEED CHEMICALS, 2022).

O processo de rastreamento inicia-se com a identificação de todas as unidades de transporte (caminhões tanques, containers, silos, paletes, caixas de armazenamento e carrinhos que armazenam ou transportam alimentos) com um número de GID criando código QR único em todo o mundo conforme demonstrado Figura 9 abaixo. Este código na embalagem do produto pode ser lido por um dispositivo móvel (celular, tablet, notebook etc.) que possui o software Bulkvision® baixado e as informações coletadas em toda a cadeia de suprimentos fica disponível para os usuários.

9 - Bulkvision® etiqueta de identificação global



Fonte: ENFIT International Association - Supply Chain Safety (2022b)

A Bulkvision® foi indicada pela “Die Deutsche Wirtschaft” como projeto inovador do Ano 2020 na Alemanha, por sua solução inovadora *Blockchain-Cloud*. As inovações da ENFIT têm consolidado seu uso no continente Europeu, em países como Alemanha, Polônia, Bélgica, porém ainda não estão aplicadas no Brasil, inaugurando um campo de oportunidades em um país continental com grande malha logística (PHILIPOWSKI, 2022).

Diante da apresentação das características da ferramenta Bulkvision®, juntamente com as definições dos perigos para segurança dos alimentos e das medidas de controle definidas no capítulo anterior, seguimos para a análise das contribuições que esta ferramenta tecnológica baseada em *Blockchain* pode trazer para a cadeia de suprimentos.

No Quadro 5 são apresentados cada um dos perigos e as medidas de controle relacionadas para garantir segurança dos alimentos no transporte de alimentos definidas no estudo de Ackerley, Sertkaya e Lange (2010), e na última coluna do quadro, tem-se a pergunta: “A ferramenta Bulkvision® contribui para este controle?”, onde consideramos de forma resumida, se esta ferramenta de rastreabilidade baseada em *Blockchain* contribui reduzir o perigo para a cadeia de suprimentos.

Quadro 5 - Análise da ferramenta Bulkvision ® em relação aos perigos de segurança dos alimentos no transporte e os controles preventivos relacionadas

Continua

	Principais Perigos para Segurança de Alimentos no transporte	Descrição dos Perigos	Controles preventivos sugerido pelos especialistas relacionados aos principais perigos	A ferramenta Bulkvision contribui para este controle?
1	Falta de segurança do produto	falta ou uso inadequado de selos de segurança e falta de verificações de segurança ou registros de transportadores	Medidas de segurança física das instalações e unidades de transporte (fechaduras de carga, lacres numerados, etc.)	Não
			Verificações de segurança e registros de transportadores	Sim
			Uso de tecnologias de rastreamento (ou seja, identificação por satélite (GPS) ou radiofrequência)	Sim
2	Práticas inadequadas de retenção do alimento que aguardam embarque e/ou inspeção	produto sem supervisão, retenção retardada do produto, embarque do produto enquanto em quarentena, e rotação e produção ruins	Rotulagem e/ou sinalização adequada	Sim
			Auditorias de terceiros de sistemas/políticas/procedimentos	Não
3	Controles de temperatura	refrigeração imprópria ou controle de temperatura de produtos alimentícios (abuso de temperatura), inclusive intencional (abuso ou violação de práticas por motoristas, ou seja, desligar unidades de refrigeração) ou não intencional (devido a práticas inadequadas de armazenamento ou falta de contêineres ou embarcações apropriados , etc)	Rastreamento dos dispositivos de monitoramento/registro de temperatura, leitura de temperatura em tempo real.	Parcial

Quadro 5 - Análise da ferramenta Bulkvision ® em relação aos perigos de segurança dos alimentos no transporte e as medidas de controle relacionadas

Continua

	Principais Perigos para Segurança de Alimentos no transporte	Descrição dos Perigos	Controles preventivos sugerido pelos especialistas relacionados aos principais perigos	A ferramenta Bulkvision contribui para este controle?
4	Contaminação cruzada	saneamento inadequado, transporte de materiais perigosos, falha na manutenção de registros de lavagem de tanques, descarte inadequado de águas residuais e métodos de fumigação de fosforeto de alumínio no trânsito de vagões	Documentação apropriada que acompanha cada carga (ou seja, registro de lavagem do caminhão-tanque, números dos selos, leituras de temperatura, tempo em trânsito e tempo nas docas, etc.)	Sim
			Saneamento de unidades de transporte e/ou contêineres	Sim
5	Práticas, condicionamento ou equipamentos incorretos de carregamento.	higienização inadequada do equipamento de carregamento, falha no uso de unidades dedicadas quando apropriado, padrões de carregamento inadequados e transporte de cargas mistas que aumentam o risco de contaminação cruzada	Programas de certificação de fornecedores ou transportadores de alimentos	Sim

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Assim, a partir da proposta, foram analisados individualmente cada item, conforme descrevem os tópicos seguintes:

Para o perigo 1 – Falta de Segurança do Produto, descrito como falta ou uso inadequado de selos de segurança e falta de verificações de segurança ou registros de transportadores. E foram consideradas três controles preventivos, o primeiro deles, tange medidas de segurança física das instalações e unidades de transporte (fechaduras de carga, lacres numerados etc.) e este controle a ferramenta Bulkvision® não é capaz de realizar, pelo fato de ser uma ferramenta tecnológica, e não um agente de controle físico.

Os outros dois controles preventivos relacionados conseguem ser realizados na ferramenta para melhorar a segurança do produto. Verificações de segurança e registros de transportadores são operadas devido a BCT, as informações são inseridas no aplicativo e são validadas tanto pelo cliente quanto pelo fornecedor de transporte com segurança. E o Uso de tecnologias de rastreabilidade (ou seja, identificação por satélite - *Global Positioning System* (GPS) ou radiofrequência), a ferramenta é capaz de se conectar com rastreadores digitais ou sensores que identificam em tempo real a carga.

Perigo 2 – Práticas inadequadas de retenção do alimento que aguardam embarque e/ou inspeção descrito como o produto sem supervisão, retenção retardada do produto, embarque do produto enquanto em quarentena, e rotação e produção ruins, foram consideradas como controles preventivos Rotulagem e/ou sinalização adequada, na ferramenta Bulkvision® é o início do controle de rastreabilidade, como já descrito neste trabalho, as unidades de transporte (caminhões tanques, containers, silos, paletes, caixas de armazenamento e carrinhos que armazenam ou transportam alimentos) são identificadas com um número de GID criando código QR único em todo o mundo que podem ser lido por um dispositivo móvel (celular, tablet, notebook etc.) através do software Bulkvision® baixado e as informações coletadas em toda a cadeia de suprimentos fica disponível para os usuários.

Entretanto o controle através de Auditorias de terceiros de sistemas/políticas/procedimentos, não é uma opção dentro da ferramenta Bulkvision®. A realização de auditorias externas está relacionada com partes externas interessadas em avaliar as operações de transporte, este sistema de rastreabilidade por *Blockchain* não está desenhado para cumprir este controle.

Perigo 3 – Controles de temperatura: refrigeração imprópria ou controle de temperatura de produtos alimentícios (abuso de temperatura), inclusive intencional (abuso ou violação de práticas por motoristas, ou seja, desligar unidades de refrigeração) ou não intencional (devido a práticas inadequadas de armazenamento ou falta de contêineres ou embarcações apropriadas etc.). Considerando que, o controle preventivo estabelecido é o Rastreamento dos dispositivos de monitoramento/registro de temperatura, leitura de temperatura em tempo real, a ferramenta Bulkvision® não é capaz de se conectar ao dispositivo de controle de temperatura do caminhão ou unidades de transporte, a coleta de dados de controles pode ser feita, mas de forma manual e com intervenção humana e o *Blockchain*, neste caso, não consegue exercer seu papel, o que fragiliza o controle.

Perigo 4 – Contaminação cruzada descrita como saneamento inadequado, transporte de materiais perigosos, falha na manutenção de registros de lavagem de tanques, descarte inadequado de águas residuais e métodos de fumigação de fosforeto de alumínio no trânsito de vagões. Considerando que, dentre as medidas preventivas estabelecidas, ter o controle sobre as documentões apropriadas que acompanham cada carga (ou seja, registro de lavagem do caminhão-tanque, números dos selos, leituras de temperatura, tempo em trânsito e tempo nas docas, etc.) é uma das principais funcionalidades propostas pelos desenvolvedores do Bulkvision®, que devido ao sistema de rastreabilidade por *Blockchain*, consegue rastrear quais os procedimentos de limpeza e os materiais envolvidos na limpeza do caminhão, além de armazenar os dados históricos de carregamentos anteriores, fornecendo ao sistema de rastreabilidade uma visão completa do produto em carregamento e do produto anteriormente transportado, que quando correlacionado pode evitar as contaminações cruzadas. Outro aspecto importante é a rastreabilidade dos números de lacres de segurança, que são checados no recebimento dos produtos e que, dentro do sistema de *Blockchain*, garantem a confiabilidade e imutabilidade aos dados. Para o controle de temperatura, como já descrito acima no perigo 3, é possível rastrear dados de temperatura lançados manualmente pelos operadores com base na leitura dos sistemas de medições de temperaturas dos caminhões e unidades de transporte, o que permite o controle manual deste parâmetro.

Em relação ao controle por Saneamento de unidades de transporte e/ou contêineres, a ferramenta Bulkvision® se diferencia no mercado, pois é capaz de receber dados das limpezas e dos seus provedores de serviços de limpeza, dentro do

sistema *Blockchain*, e gerar um certificado digital de validação da limpeza, em linha com os protocolos validados pela ENFIT.

Por fim, para o perigo 5 – Práticas, condicionamento ou equipamentos incorretos de carregamento, caracterizada como higienização inadequada do equipamento de carregamento, falha no uso de unidades dedicadas quando apropriado, padrões de carregamento inadequados e transporte de cargas mistas que aumentam o risco de contaminação cruzada, temos como medida de controle correlacionado o programa de certificação de fornecedores ou transportadores de alimentos, que é possível de ser aplicado usando a ferramenta Bulkvision®. A mesma, foi desenvolvida para ser aplicada em empresas que, preferencialmente, possuam certificação de limpeza da entidade ENFIT, que tem como objetivo validar as práticas de carregamento, descarregamento e condicionamento em relação aos padrões de limpeza estabelecidos pelos especialistas da ENFIT.

E assim, via *Blockchain*, quanto maior o número de empresas certificadas ENFIT ligadas a ferramenta, vai-se aumentando o número de “nós” certificados e, à medida que o número de transações aumenta a segurança dos alimentos também aumenta.

A razão por trás disto é que, cada ponto da cadeia está conectado ao “livro caixa” (*Ledger* em inglês) imutável e distribuído, e que se alguém tentar fraudar os dados dos alimentos, os demais membros da cadeia *Blockchain* automaticamente os vêem e descartam tal erro do *ledger.* E isto aumentará a transparência na cadeia de bloqueios e confiabilidade (TANWAR *et al*., 2022).

CONCLUSÃO

Como enunciado no princípio deste estudo, com o aumento da conscientização do consumidor e o crescente foco na segurança dos alimentos, aumenta a necessidade de adoção de práticas de negócios que ajudarão os parceiros comerciais da indústria de alimentos a rastrear seu produto e garantir segurança dos alimentos em toda a cadeia de suprimentos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a contribuição de um sistema de rastreabilidade baseado na tecnologia *Blockchain* aplicado ao transporte para aumentar a segurança dos alimentos na cadeia de suprimentos de alimentos.

Para tanto, realizou-se uma pesquisa exploratória, seguida de uma pesquisa bibliográfica e sua respectiva análise bibliométrica, de pesquisa documental e de um estudo de caso para aplicação dos principais desafios considerados.

A principal contribuição do trabalho foi entender como a tecnologia *Blockchain* aplicada a rastreabilidade pode contribuir para eliminar ou mitigar os principais desafios referentes a segurança dos alimentos no transporte da cadeia de suprimentos de alimentos.

Segundo os autores Ackerley, Sertkaya e Lange (2010) foram listados 5 perigos críticos que foram correlacionados com 9 controles preventivos para a gestão de segurança dos alimentos no transporte. Quando aplicados a plataforma Bulkvision®, demonstrou-se como, a rastreabilidade com o uso da tecnologia BCT pode atender a maioria dos requisitos de segurança dos alimentos propostos, sendo: 5 desafios atendidos em completude, 1 parcial e 2 desafios não atendidos.

Neste estudo de caso, a ferramenta de rastreabilidade baseada em *Blockchain* demonstrou vantagens significativas e tem vários benefícios em termos de confiança, eficiência, qualidade, especificamente, em termos de segurança dos alimentos. Sendo capaz de rastrear os alimentos ao longo da cadeia, oferecendo excelentes benefícios em termos de certificações e confiança (registros auditáveis que podem ser inspecionados e usados por participantes-chave ou por partes interessadas externas etc.), com dados transparentes, separação de lotes e por longas distancias, conferindo mais segurança a cadeia de alimentos.

Mas principalmente, ao que tange a FSC, a ferramenta registra os

processos que garantem a limpeza e sanitização das unidades transportadoras (métodos de higienização homologados por padrões internacionais, específicos aos diferentes tipos de alimentos transportados), solucionando um dos principais desafios de contaminação cruzada, listados pelos autores e pelo FDA.

No entanto, em relação aos desafios não atendidos e o atendido parcialmente, requer elementos adicionais que, possivelmente, em uma aplicação prática poderá ter impacto, como por exemplo a leitura eletrônica de temperatura em tempo real, inclusão de informações de auditorias de fornecedores.

Logo, a partir dos materiais e métodos utilizados e com base no levantamento bibliográfico e no estudo de caso realizado conclui-se que, de fato, o BCT aplicado a rastreabilidade pode contribuir para uma cadeia de suprimentos de alimentos mais segura. Mesmo levando em conta a natureza qualitativa da pesquisa, os possíveis ganhos com a aplicação da tecnologia considerando os desafios de segurança dos alimentos para o transporte de alimentos sugerido, os ganhos são representativos e reforçam necessidade de explorar as possibilidades fornecidas pela tecnologia.

Por fim, entende-se que os resultados aqui apontados são uteis para a cadeia de suprimentos de alimentos adotar estratégias para que as empresas produzam alimentos cada vez mais seguros, tanto para a etapa de transporte quanto para etapa produtiva. Assim como para gestores, em especial de produção e cadeia produtiva, estudarem e reduzirem os riscos relacionados ao produto. Ainda, os resultados são importantes como direcionadores de estratégias para a etapa de transporte fomentar a adoção de práticas de alimentos mais seguros.

Como oportunidades de estudos futuros, sugerem-se expandir os limites levantados com a aplicação da ferramenta na solução de problemas que a plataforma não conseguiu atender: leitura em tempo real da temperatura e inclusão de dados de qualificação dos fornecedores de transporte. Recomendam-se também futuros trabalhos para analisar comparativamente outras ferramentas disponíveis no mercado para atender os desafios de segurança dos alimentos levantados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLEY, N.; SERTKAYA, A.; LANGE, R. Food transportation safety: characterizing risks and controls by use of expert opinion. **Food Protection Trends**, v. 30, n. 4, 212-222, Apr 2010.

BEHNKE, K.; JANSSEN, M. F. W. H. A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using *Blockchain* technology. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 101969, Jun. 2020.

BHAT, S. A. *et al.* Agriculture-food supply chain management based on *Blockchain* and iot: a narrative on enterprise *Blockchain* interoperability. **Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 40, 2022.

BHUTTA, M. N. M.; AHMAD, M. Secure identification, traceability and real-time tracking of agricultural food supply during transportation using internet of things. **IEEE Access**, v. 9, p. 65660–65675, 28 Apr. 2021.

BOSONA, T.; GEBRESENBET, G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. **Food Control**, v. 33, n. 1, p. 32-48, Sep. 2013.

BULKVISION FOOD FEED CHEMICALS**. Optimize logistics and processes with blockchain cloud technology**. Hamburg: bulkvision GmbH, 2022. Disponível em: https://bulkvision.eu/en/homepage/. Acesso em: 20 dez. 2022.

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, Jun. 2020.

CASINO, F. *et al. Blockchain*-based food supplychain traceability: a case study in the dairy sector. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 19, p. 5758-5770, 2021.

CISCO. **Cisco annual internet report (2018–2023)**. San Jose, CA: Cisco, 2018. Disponível em: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022.

DEMESTICHAS, K. *et al. Blockchain* in agriculture traceability systems: a review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 12, p. 4113, Jun. 2020.

DUAN, J. *et al.* A content-analysis based literature review in *Blockchain* adoption within food supply chain. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 5, p. 1784, Mar. 2020.

ENE, C. The relevance of traceability in the food chain. **Economics of Agriculture**, v. 60, n. 2, p. 287-297, 2013.

ENFIT INTERNATIONAL ASSOCIATION - SUPPLY CHAIN SAFETY. **Standards for**

the cleaning of transport units. Germany: ENFIT, 2022a. Disponível em: https://www.enfit.eu/en/. Acesso em: 15 set. 2022.

ENFIT INTERNATIONAL ASSOCIATION - SUPPLY CHAIN SAFETY. **Complete traceability in the supply chain**. Germany: ENFIT, 2022b. Disponível em: https://www.enfit.eu/en/traceability/. Acesso em: 15 set. 2022.

FENG, H. *et al*. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121031, Jul. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food traceability guidance**. Rome: FAO, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Traceability & recalls**. Rome: FAO, Traceability *& recall*s, 2022. Disponível em: https://www.fao.org/food-safety/food-control-systems/supply-chains-and-consumers/traceability-and-*recall*s/en/. Acesso em: 25 ago. 2022.

FRIEDMAN, N.; ORMISTON, J. *Blockchain* as a sustainability-oriented innovation: opportunities for and resistance to *Blockchain* technology as a driver of sustainability in global food supply chains. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, p. 121403, Feb. 2022.

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, Oct. 2018.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HACKIUS, N.; PETERSEN, M. Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat? *In*: HAMBURG INTERNATIONAL CONFERENCE OF LOGISTICS, Hamburg, 2017. **Proceedings** [...]. Berlim: GmbH, 2017. v. 23, p. 3-18.

KAMILARIS, A.; FONTS, A.; PRENAFETA-BOLDΎY, F. X. The rise of *Blockchain* technology in agriculture and food supply chains. **Trends in Food Science and Technology**, v. 91, p. 640-652, Sep. 2019.

LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE. **StArt for Windows (3.0.3)**. São Carlos, UFSCar, 2016. Disponível em: http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool. Acesso em: 28 dez. 2022.

LATINO, M. E. *et al.* Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 178, p. 121564, May 2022.

MAO, D. *et al.* Credit evaluation system based on *Blockchain* for multiple

stakeholders in the food supply chain. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 15, n. 8, p. 1627, Aug. 2018.

PANDEY, V.; PANT, M.; SNASEL, V. *Blockchain* technology in food supply chains: Review and bibliometric analysis. **Technology in Society**, v. 69, p. 101954, May 2022.

PATELLI, N.; MANDRIOLI, M. *Blockchain* technology and traceability in the agrifood industry. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 11, p. 3670-3678, Nov. 2020.

PHILIPOWSKI, Hans-Dieter. ***Blockchain* schützt Lebensmittelindustrie und Handel**. Germany: Die Deutsche Wirtschaft, 22 jun. 2020. Disponível em: https://die-deutsche-wirtschaft.de/lebensmittelsicherheit-fuer-produzenten-handel-und-verbraucher/. Acesso em: 15 set. 2022.

QIAN, J. *et al.* Traceability in food processing: problems, methods, and performance evaluations: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 679-692, 2022.

RIDDER, H. G. The theory contribution of case study research designs. **Business Research**, v. 10, p. 281-305, 2017.

SALESFORCE. **SaaS**: o que é software as a service? São Paulo: Salesforce, 2022. Disponível em: https://www.salesforce.com/br/saas. Acesso em: 20 dez. 2022.

STRANIERI, S. *et al.* Exploring the impact of *Blockchain* on the performance of agri-food supply chains. **Food Control**, v. 119, p. 107495, Jan. 2021.

TANWAR, S. *et al. Blockchain* adoption to secure the food industry: opportunities and challenges. **Sustainability**, v. 14, n. 12, p. 7036, Jun. 2022.

THARATIPYAKUL, A.; PONGNUMKUL, S. User interface of *Blockchain*-based agri-food traceability applications: a review. **IEEE Access**, v. 9, p. 82909–82929, Jun. 2021.

U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Recalls, market withdrawals, & safety alerts**. Rockville, MD: FDA, 2022. Disponível em: https://www.fda.gov/safety/*recall*s-market-withdrawals-safety-alerts. Acesso em: 15 set. 2022.

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, Mar. 2022.

WESTERLUND, M. *et al.* An exploration of *Blockchain*-based traceability in food supply chains: on the benefits of distributed digital records from farm to fork. **Technology Innovation Management Review**, v. 11, n. 6, p. 6-18, Jun. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Food safety**. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety. Acesso em: 22

ago. 2022.

YIN, R. K. **Pesquisa de estudo de caso. Design e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ZHAO, G. *et al. Blockchain* technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. **Computers in Industry**, v. 109, p. 83-99, Aug. 2019.

ZHU, J.; LIU, W. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. **Scientometrics**, v. 123, p. 321-335, Feb. 2020.