


**BLOCKCHAIN E SEGURANÇA ALIMENTAR: UMA ABORDAGEM  
INSTITUCIONAL**


**BLOCKCHAIN AND FOOD SECURITY: AN INSTITUTIONAL APPROACH**

Recebido em: 29/12/2025

Aceito em: 17/04/2026

Publicado em: 30/05/2026

Vitor G. T. de Batista<sup>1</sup>   
Universidade de São Paulo

Flavia Trentini<sup>2</sup>   
Universidade de São Paulo

**Resumo:** Este artigo propõe uma análise conceitual e interdisciplinar com o objetivo de compreender como os agentes do sistema podem utilizar essa tecnologia para mitigar riscos e contribuir para a segurança alimentar na sociedade. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e diagnóstica, com técnica de revisão de escopo. A análise sugere que o blockchain, aliado a tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA), pode fortalecer a rastreabilidade, ampliar a transparência e auxiliar na redução de riscos, embora existam limitações técnicas e institucionais. Conclui-se que a gestão de riscos não depende apenas da inovação tecnológica, mas também de governança articulada e organização institucional.

**Palavras-chave:** Blockchain; Instituições; Sistema Alimentar; Segurança Alimentar; Risco.

**Abstract:** This article proposes a conceptual and interdisciplinary analysis aimed at understanding how system agents can use this technology to mitigate risks and contribute to food security in society. The research adopts a qualitative and diagnostic approach, using a scoping review technique. The analysis suggests that blockchain, combined with technologies such as the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI), can strengthen traceability, enhance transparency, and help reduce risks, although there are technical and institutional limitations. It concludes that risk management depends not only on technological innovation but also on coordinated governance and institutional organization.

**Keywords:** Blockchain; Institutions; Food System; Food Security; Risk.

## INTRODUÇÃO

Desde a década de 1930, os setores econômicos passaram a ser compreendidos de modo sistêmico por meio da matriz insumo-produto de Wassily Leontief (Zylbersztajn, 1995). Sob essa influência, Davis e Goldberg (1957) definiram o conceito de agronegócio, por meio do qual são abrangidas operações que vão desde produção, insumos, processamento, distribuição até o consumo de produtos agropecuários. Posteriormente, Ray Goldberg (1968) ampliou esse

<sup>1</sup> Doutorando, mestre e bacharel em Direito pela Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Direito de Ribeirão Preto (FDRP). E-mail: vitordebatista@usp.br

<sup>2</sup> Professora Associada da Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Direito de Ribeirão Preto (FDRP). Livre Docente em Direito Agrário pela FDRP-USP. Doutora em Direito pela USP, Pós-Doutora pela Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e Perfezionamento (SSSUP) Pisa-Itália e Pós-Doutora em Administração/Economia das Organizações pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA) da USP. E-mail: trentini@usp.br

conceito ao incluir as instituições que influenciam sua coordenação, como órgãos governamentais, mercados futuros e associações comerciais.

Seguindo esse ideal sistêmico, surgiu ainda o conceito de sistema alimentar, adotado oficialmente pela Food and Agriculture Organization (FAO). Este é entendido como o conjunto de atores e atividades interligadas que agregam valor à produção, processamento, distribuição, consumo e descarte de alimentos, inseridos em ambientes econômicos, sociais e naturais.

Em consonância com a Nova Economia Institucional, o sistema alimentar pode ser compreendido como uma estrutura organizacional composta por transações econômicas, cujas formas de governança são moldadas pelo ambiente institucional. Nesse contexto, as instituições se organizam em três níveis: i) macro-instituições ou ambiente institucional, responsáveis por estabelecer as regras do jogo e alocar direitos (Davis; North, 1970; North, 1990; Ménard, 2022, p. 3); ii) micro-instituições ou arranjos organizacionais, responsáveis por organizar as transações e regular o uso dos recursos dentro das organizações (Williamson, 2000); e iii) meso-instituições, responsáveis por atuar como elo entre os dois níveis, traduzindo normas gerais em padrões específicos aplicáveis aos agentes econômicos (Ménard, 2018; Ménard *et al.*, 2022.; de Mello *et al.*, 2024). Portanto, o dinamismo impulsionado pelas mudanças tecnológicas constitui uma característica marcante desse sistema, pois suas inovações podem trazer reconfiguração dos arranjos institucionais.

Assim, na era digital, tecnologias como o blockchain, a Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial, ao oferecerem automação, autonomia, otimização da gestão e maior capacidade de resposta a riscos promovem transformações organizacionais contínuas (Zhao *et al.*, 2019; Klerkx; Rose, 2020; D'Avanzo, 2021, 2022; Van Hilten; Wolfert, 2022). No entanto, a evolução tecnológica assume uma perspectiva dialética quando confrontado com o conceito de risco. Isso porque, embora o progresso tecnológico traga ganhos de eficiência no sistema alimentar, ele também pode gerar impactos ambientais significativos, como degradação de florestas, contaminação do solo e da água, e perda de biodiversidade.

Além disso, novas tecnologias podem introduzir novos riscos, como os energéticos e os relacionados à segurança cibernética (Notarnicola *et al.*, 2012; Bachev, 2013, p. 52). Desse modo, os riscos podem ser compreendidos como perigos reais que serão reconhecidos pela sociedade a partir de uma construção social e simbólica (de Batista, 2024).

Diante desse cenário dinâmico, sistêmico e institucional, este artigo se justifica por tratar o sistema alimentar como um conceito ligado a um bem essencial - o alimento - e por analisá-lo para além da dimensão econômica, mediante a incorporação de aspectos sociais, culturais,

simbólicos, tecnológicos e ambientais, com especial atenção à segurança alimentar e nutricional, indispensável à dignidade humana (Gomes; Belaidi, 2023; Derani, 2024). Frente a desafios complexos impõem-se novas formas de governança e controle. Nesse sentido, apresenta-se a gestão de riscos à saúde no sistema alimentar contemporâneo por meio de uma abordagem integrada que combina inovação tecnológica com governança institucional.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para analisar como os agentes do sistema alimentar podem gerenciar riscos sanitários através do blockchain e ampliar a segurança alimentar, adotou-se abordagem qualitativa, inserida na vertente jurídico-sociológica, que considera fenômenos jurídicos em seu contexto social (Gustin; Dias, 2010). A técnica principal foi a revisão de escopo, que permitiu o levantamento abrangente sobre segurança alimentar, sistema alimentar, blockchain, risco à saúde e gestão de risco. Complementarmente, utilizou-se literatura cinza, tais como, documentos oficiais, livros e teses, devido à escassez de fontes sistemáticas em alguns temas. Reconhecem-se as limitações dessa literatura, como dificuldade de acesso e possível falta de replicação, mas destaca-se sua relevância para enriquecer a análise interdisciplinar (Munn, 2018).

## **NOVOS PARADIGMAS DA SEGURANÇA ALIMENTAR E A GESTÃO DO RISCO SANITÁRIO NO SISTEMA ALIMENTAR**

O tema da alimentação tem sido amplamente discutido em nível internacional ao longo do tempo. Nesse contexto, algumas iniciativas globais contribuíram para institucionalizar esse debate (Silva, 2014), entre as quais se destacam: i) a fundação da FAO, em 1945, para coordenar respostas à escassez de alimentos no pós-Segunda Guerra; ii) a inclusão do direito à alimentação na Declaração Universal dos Direitos Humanos, em 1948, e sua obrigatoriedade no Pacto Internacional sobre Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (1966); e iii) a introdução do termo “segurança alimentar” na Resolução nº 03 da FAO, em 1973, com destaque na Primeira Conferência Mundial de Alimentação, em 1974.

Com isso, desde meados do século XX, a alimentação adequada, enquanto uma necessidade básica do ser humano, é vista como um requisito para a concretização de outros direitos. Desse modo, a alimentação configura-se também como um direito fundamental. Afinal, como a dignidade da pessoa humana está diretamente relacionada à possibilidade de se alimentar de forma segura e suficiente para suprir as necessidades nutricionais diárias, o direito

à alimentação se torna uma extensão natural do direito à vida e da preservação da dignidade humana. No entanto, o alimento depende de um sistema alimentar e, para que seja efetivamente garantido como um direito fundamental, é necessário que o tratamento jurídico desse sistema seja compatível com uma distribuição equitativa e universal de alimentos nutritivos e de qualidade (Von Braun *et al.*, 2023; Gomes; Belaidi, 2023, p. 238; Derani, 2024, p. 60).

Nessa perspectiva, a segurança alimentar surge como um conceito basilar para a proteção dos direitos fundamentais. Ao longo das últimas décadas, em virtude de sua dinamicidade conforme as mudanças nos contextos socioeconômicos, jurídicos e acadêmicos, esse conceito tornou-se mais complexo e multidimensional, uma vez que assegura, i) a disponibilidade local de alimentos; ii) os acessos físico, econômico e sociocultural; iii) a qualidade alimentar; e iv) a utilização adequada, estável e ecológica (Alabrese, 2018, 2020; Shakeel, 2018; Benites; Trentini, 2019). Dessa forma, atualmente, a segurança alimentar é considerada um conceito dinâmico, que se constrói – e se desconstrói - de forma contínua, principalmente em relação às transformações nos sistemas alimentares e novos arranjos geopolíticos (Shakeel, 2018, p. 58; Alabrese, 2019, p. 4).

Apesar da evolução conceitual, persistem críticas tanto no âmbito macro quanto no microinstitucional. No primeiro aspecto, Cloke (2013) defende que a segurança alimentar não deve se restringir a um debate teórico no âmbito da governança global, mas sim incluir ações concretas que impactem diretamente as práticas econômicas e políticas. Isso porque, quando tratada apenas no âmbito discursivo, acaba por refletir estruturas de poder e desigualdades. No segundo aspecto, Ramp (2014) destaca o papel da sociedade civil na construção de alternativas auto-organizadas. Para essa vertente, diretrizes externas e discursos sobre segurança alimentar, muitas vezes acompanhados de medidas governamentais verticalizadas, podem disfarçar medidas de controle social, econômico e político.

Esse posicionamento se torna ainda mais relevante quando comparado à abordagem que trata a segurança alimentar, sob um ideal de autossuficiência do Estado, como elemento central da soberania nacional. Sob essa ótica, a autossuficiência alimentar de um país se torna fator estratégico essencial para sua independência. Essa abordagem amplia o conceito de segurança alimentar por incorporar não apenas a garantia do abastecimento interno, mas também a autonomia na formulação de políticas públicas voltadas para o setor (Gumerov, 2020). Contudo, essa extensão conceitual pode ser usada para justificar intervenções estratégicas e práticas indesejadas de gestão do poder sobre populações, especialmente em contextos de crise econômica ou conflitos.



Dessa forma, é notório que a segurança alimentar permanece central na política internacional, com a ampliação de seu conceito do século XX ao XXI. Entretanto, novos paradigmas, como crises sanitárias, guerras e conflitos tarifários internacionais, demonstram a fragilidade do sistema alimentar e a necessidade de soluções resilientes para que os avanços, conceituais e práticos, não sejam desconstruídos.

## **A QUALIDADE E A GESTÃO DO RISCO SANITÁRIO NO SISTEMA ALIMENTAR**

No âmbito da dimensão da qualidade, um dos principais desafios para a segurança alimentar reside nas práticas de agentes econômicos que, visando à redução de custos, adulteram matérias-primas ou recorrem a insumos de qualidade inferior. Essa deterioração da qualidade invariavelmente resulta em escândalos, tanto nacionais quanto internacionais, que evidenciam a falta de integridade no sistema alimentar.

Tais episódios intensificam as preocupações com a segurança do consumidor e impulsionam debates sobre a gestão de riscos à saúde no setor. Um exemplo emblemático foi a adulteração de produtos com carne de cavalo no Reino Unido e na União Europeia, que ampliou a desconfiança pública e fomentou a criação de sistemas globais de gerenciamento de riscos sanitários. A constituição de agências reguladoras nesses países influenciou a adoção de estruturas semelhantes em outras regiões e formalizou discussões antes restritas a padrões privados, os quais já desempenhavam papel essencial na prevenção e na atribuição de responsabilidades (Donaldson; Brice; Midgley, 2020; Rogerson; Parry, 2020; Commandré *et al.*, 2021).

Esse cenário evidencia que a segurança alimentar não se limita à integridade dos produtos, mas envolve um conjunto amplo de riscos que permeiam todo o sistema alimentar. O setor enfrenta perigos classificados socioculturalmente como riscos potenciais, cuja definição é multifacetada e nem sempre tão clara (Alabrese, 2009). Assim, o risco alimentar pode ser entendido como a possibilidade de comprometimento futuro da integridade dos alimentos em termos de segurança, qualidade e autenticidade (Donaldson, Brice, Midgley, 2020, p. 609). Os riscos de qualidade e quantidade, como o próprio nome sugere, estão vinculados à possibilidade de impactos negativos diretos na característica intrínseca do produto, em sua qualidade ou em sua quantidade. Esses riscos podem ser provocados por fatores externos, como condições climáticas adversas e agentes patogênicos, ou internos, como falhas no funcionamento de equipamentos.

Várias são as categorizações possíveis do risco no sistema alimentar. Entre as possíveis categorizações, há aquela relativa ao agente causador, que inclui: i) riscos físicos (eventos climáticos, escassez hídrica); e ii) riscos químicos e biológicos (contaminações, pesticidas) (Landini, 2021), que podem comprometer a produtividade e resultar prejuízos econômicos significativos.

Além desses fatores, os riscos de qualidade e quantidade podem estar relacionados a fraudes alimentares. Nesse aspecto, entende-se como fraude alimentar as atividades que possuem como objetivo a substituição, a adição, adulteração ou deturpação deliberada e intencional de alimentos, ingredientes ou embalagens, ou ainda, declarações falsas ou enganosas sobre um produto, para se obter ganhos econômicos (Iftekhar *et al.*, 2020). Há também riscos institucionais, como mudanças inesperadas em políticas agrícolas, subsídios e regulamentações, que afetam decisões produtivas e estruturas empresariais.

Nesse contexto, o gerenciamento de riscos assume papel central, pois ações individuais e coletivas podem amplificar ameaças. A título de exemplo, pode-se citar entre as individuais: i) ignorância do agente (falta de informação ou treinamento); ii) má estratégia de assumir riscos; iii) má gestão (planejamento inadequado); e iv) comportamentos oportunistas, como fraudes e crimes. Já entre as coletivas: i) dinâmica econômica e incerteza (volatilidade de preços, falhas de mercado); ii) ordens coletivas (greves, restrições comerciais); e iii) ordens públicas (instabilidade política, má intervenção estatal) (Bachev, 2013).

Essas ações influenciam diretamente os mecanismos de governança voltados à detecção, prevenção e mitigação de ameaças, bem como definem instrumentos de atribuição, proteção e coordenação. Modos privados de gerenciamento envolvem arranjos contratuais e organizacionais, como seguros e contratos futuros com prefixação de preços (Bachev, 2013; Landini, 2021; Candian, 2021). Já o modo público parte das macroinstituições e inclui intervenções supranacionais, políticas de preços, regulamentos, assistência, financiamento e tributação (Bachev, 2013).

Então, gerir riscos sanitários no sistema alimentar exige uma abordagem abrangente que considere todas as etapas da cadeia, desde a produção, processamento, distribuição, consumo até o descarte, bem como o ambiente institucional e os arranjos organizacionais. A escolha do modo de gerenciamento depende de diversos fatores, como tipo de risco, características dos agentes, ambiente institucional, avanços tecnológicos, cultura, educação e evolução natural.

As tipologias de gerenciamento seguem etapas comuns. A primeira dela é identificação e avaliação dos riscos existentes e emergentes mediante a classificação de probabilidade e

impacto. Nesse processo, a experimentação casuística auxilia nesse processo, pois as organizações podem estruturar-se de diferentes formas, ao passo que a persistência de certos riscos indica falhas no gerenciamento, sendo essencial adotar métodos modernos e confiáveis (Bachev, 2013). Após essa análise, especificam-se os modos de gerenciamento (públicos, privados, de mercado ou híbridos) considerando critérios como eficiência (detecção, prevenção, mitigação e recuperação com baixo custo) e adaptabilidade às mudanças socioeconômicas, tecnológicas e ambientais. A escolha deve incluir análise comparativa de capacitação, planos de contingência e parcerias, além da viabilidade técnica, econômica e política, bem como custos diretos, indiretos e de transação. Somente após essa avaliação a estratégia deve ser implementada.

No entanto, o gerenciamento não se encerra na implementação: requer monitoramento contínuo para detectar riscos emergentes e ajustar estratégias conforme novas medidas de eficiência. Surge, assim, a necessidade de uma análise sistêmica da segurança alimentar em escala global, capaz de mapear agentes econômicos, interações e vulnerabilidades nas cadeias corporativas, além de examinar estruturas de poder e desigualdades (Cloke, 2013).

Portanto, para uma gestão eficiente, é essencial mapear processos internos e relações entre participantes econômicos. Embora complexo, esse mapeamento traz visibilidade às transações e responsabilização por riscos, como fraudes (Donaldson; Brice; Midgley, 2020). Nesse sentido, tecnologias como blockchain podem apoiar esse processo ao registrar transações de forma segura; contudo, enfrentam desafios institucionais, pois as interações entre ambientes organizacionais e institucionais nem sempre são diretas, o que limita sua eficácia.

## **O BLOCKCHAIN NO SISTEMA ALIMENTAR E BARREIRAS INSTITUCIONAIS PARA O CUMPRIMENTO DE PADRÕES INTERNACIONAIS**

O blockchain apresenta duas vertentes conceituais. A primeira, de caráter técnico, define-o como uma estrutura composta por blocos de dados encadeados, em que cada bloco contém um conjunto de transações e uma referência ao bloco anterior, formando uma cadeia com regras e procedimentos específicos. A segunda, de natureza abstrata, compreende o blockchain como um conceito que, no contexto social, simboliza uma tecnologia capaz de promover privacidade, inclusão, integridade, descentralização, segurança, simplificação e geração de valor (Di Lauro, 2021, p. 232; de Batista, 2024).

A partir da concepção técnica, o sistema alimentar digital resulta da integração de blockchain, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA). Essa convergência viabiliza

a coleta, o armazenamento e a análise de dados com alta precisão, além de automação e decisões autônomas por meio de sensores, tratores e drones inteligentes (Klerkx; Rose, 2020; D'Avanzo, 2021; Van Hilten; Wolfert, 2022).

Ademais, com base nesse avanço, também surge o conceito de fazendas inteligentes (smart farming). Essa abordagem visa a integrar o processamento de dados a respostas automatizadas para otimizar o uso de recursos naturais e reduzir os impactos ambientais da produção agrícola. Com isso, fazendas inteligentes utilizam simulações e análises avançadas de dados em tempo real para aprimorar o monitoramento e o controle das operações agrícolas, como os sistemas automatizados de controle climático em estufas. Essa evolução transforma as fazendas em "sistemas de gestão ciberfísicos", nos quais o controle manual é reduzido e a eficiência operacional é maximizada (Van Hilten; Wolfert, 2022).

Nesse cenário digitalizado, o blockchain destaca-se pela rastreabilidade, isto é, pela capacidade de acesso a informações detalhadas sobre um produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Com a combinação do monitoramento em tempo real e o histórico logístico, a rastreabilidade torna-se essencial para aferição da autenticidade e integridade dos alimentos, considerando a natureza perecível e a suscetibilidade a adulterações (Wallace; Manning, 2020; Song *et al.*, 2022). Assim, cada etapa, da produção ao descarte, pode ser registrada de forma imutável, o que assegura a origem e possibilita respostas rápidas a crises, como surtos e recalls, diminui riscos à saúde, perdas financeiras e danos reputacionais (Spoto, 2019; Bumblauskas *et al.*, 2020; Hernandez San Juan, 2020; Ma; Chen; Liu, 2022). Além disso, a transparência resultante da rastreabilidade, favorece certificações, decisões informadas, práticas sustentáveis e economia circular (Guido *et al.*, 2020; Sirsi, 2021; Anastasiadis *et al.*, 2022).

Sob essa perspectiva, estudos de caso comprovam a eficácia do blockchain em cadeias produtivas como ovos, vinho, peixe, carne, grãos, óleo, leite, azeite e café, além de apontar oportunidades em mercados específicos, como o halal, garantindo conformidade cultural (Saba, 2019; Tiscini *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022; Rezaei; Babazadeh, 2022). Quando associado a tecnologias complementares, como IoT e IA, o blockchain amplia de forma significativa o potencial da rastreabilidade. Essa integração permite monitoramento das condições ideais de armazenamento e transporte, antecipa riscos e mitiga perigos à saúde. Também viabiliza registros detalhados — como temperatura e umidade em tempo real — que reforçam a comprovação de procedência e a conformidade com especificações predeterminadas (Bumblauskas *et al.*, 2020; Wünsche; Fernqvist, 2022; Friedman; Ormiston, 2022). Além disso, identifica desvios críticos, como contaminações e alérgenos, assegura respostas rápidas e

fortalece a conformidade com padrões internacionais. O sistema cria registros prospectivos, possibilita projeção de cenários e incentiva práticas econômicas voltadas à redução de riscos e custos de crises (Powell *et al.*, 2022).

No entanto, a gestão eficaz de riscos depende de informações precisas, cuja distribuição permanece desigual: grandes produtores concentram mais conhecimento que consumidores. Blockchains públicos reduzem assimetrias informacionais, viabilizam escolhas conscientes e favorecem dietas saudáveis (Santeramo *et al.*, 2021; Zhai *et al.*, 2022; Dal Mas *et al.*, 2023). Portanto, embora poderoso, o blockchain não é infalível. A imutabilidade dos registros não assegura veracidade, pois o sistema opera por autocertificação. A tecnologia não substitui controles tradicionais nem funciona como “detector de mentiras”. A autenticidade dos dados depende da integridade dos agentes responsáveis pela inserção e a eficácia, nesse sentido, exige combinação tecnológica, políticas regulatórias robustas e manutenção de controles convencionais (Iftekhhar *et al.*, 2020).

Diante disso, persistem desafios técnicos e institucionais. Um exemplo de desafio técnico, é a rastreabilidade de grandes volumes de grãos ou commodities fungíveis que requer separação contínua e infraestrutura onerosa, com impacto relevante especialmente a países economicamente agrícolas, como o Brasil (Hernandez San Juan, 2020). Por seu turno, um desafio institucional reside na definição e a validação da responsabilidade pela inserção de informações que demandam mecanismos robustos e clareza de agentes envolvidos, tema que suscita divergências entre países (Larson, 2021).

A viabilidade econômica e os desafios institucionais, contudo, exigem avaliação rigorosa, pois a modernização tecnológica também introduz novos riscos que pedem abordagem crítica (Notarnicola *et al.*, 2012; Bachev, 2013; Chatalova *et al.*, 2016). O marco regulatório constitui outro ponto crítico. Não existe plano formal de padronização global, tampouco tecnologia que conecte diferentes blockchains, o que resulta em falta de interoperabilidade e fragmentação (Iftekhhar *et al.*, 2020; Stazi; Jovine, 2022). A regulação avança de modo isolado em diversos países, com ambiguidades que reduzem benefícios potenciais. Iftekhhar *et al.* (2020) destacam a necessidade de ontologias padrão e mensagens comuns para uniformização dos dados na cadeia de suprimentos. A ausência de macroinstituições favorece a proliferação de soluções privadas (microinstituições), sob a lógica de que, se não é proibido, é permitido (Singh *et al.*, 2021).

Todavia, a ausência de padronização institucional não é exclusividade do âmbito tecnológico e atinge também a própria concepção de segurança alimentar. Isso porque, mesmo

com iniciativas transnacionais, como os Princípios Gerais de Higiene Alimentar e o Acordo sobre a Aplicação de Medidas Sanitárias e Fitossanitárias da Organização Mundial do Comércio, persiste falta de tratamento uniforme da alimentação e dos riscos como tema de saúde pública global. Divergências políticas e econômicas perpetuam normas nacionais fragmentadas. Leib e Pollans (2019) defendem abordagem unificada para segurança alimentar restrita, intermediária e ampla, com potencial de facilitar integração e fiscalização amparadas por blockchain (Dehghani *et al.*, 2022).

A padronização de processos internos e externos de rastreabilidade e a uniformização dos dados entre participantes constituem o fator decisivo, mais do que a própria tecnologia. Essas barreiras institucionais limitam transparência e controle de qualidade. Uma governança internacional precisa definir padrões conceituais, normas técnicas e autoridades sobre inserção e acesso aos dados (Behnke; Janssen, 2020; Wünsche; Fernqvist, 2022). Sem coordenação, surgem sistemas pulverizados e economicamente ineficientes. A formação de consórcios setoriais, apoiados por governos, figura como caminho para padronização e governança, condição essencial para que projetos-piloto evoluam para implementações de longo prazo.

Apesar de tais limitações, é fato que o blockchain, enquanto ferramenta técnica combinada a outras tecnologias, tem potencial para reduzir riscos de contaminação e fraude e contribui para diminuição de desperdícios. Portanto, sistemas baseados na tecnologia oferecem alertas preventivos alinhados ao princípio da precaução o que reforça o papel da ciência e da tecnologia em estratégias inovadoras de gestão de riscos (Hernandez San Juan, 2020; Bachev, 2013). No nível organizacional, a adoção do blockchain permanece baixa. Empresas que utilizam a tecnologia buscam formas de acessar e aproveitar informações transferidas. Para alcançar o potencial pleno, ajustes de práticas internas e participação efetiva de todos os agentes tornam-se necessários.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia blockchain apresenta-se como uma inovação disruptiva com potencial para transformar o sistema alimentar global. No plano abstrato, sua capacidade de promover rastreabilidade, transparência e segurança responde diretamente aos desafios da segurança alimentar e à mitigação de riscos sanitários. Já no plano concreto, sua implementação eficaz exige uma abordagem integrada que considere aspectos técnicos, institucionais, sociais e econômicos.

Do ponto de vista técnico, a imutabilidade e a descentralização do blockchain asseguram a integridade dos dados, permitindo monitoramento em tempo real das condições de produção, transporte e armazenamento. Essa característica contribui para prevenir fraudes, contaminações e desperdícios, além de facilitar processos de recall. A integração com IoT e IA amplia a automação e a análise preditiva, tornando o sistema alimentar mais resiliente. Contudo, persistem desafios técnicos relevantes, como a rastreabilidade de grandes volumes de commodities fungíveis, a falta de interoperabilidade e a ausência de padronização, fatores que comprometem a gestão global de riscos.

No âmbito institucional, os desafios são igualmente críticos. A ausência de uma governança internacional robusta e de padrões comuns dificulta a consolidação de um sistema alimentar digital integrado. A fragmentação regulatória e a proliferação de soluções privadas isoladas geram sistemas que não se comunicam, elevando custos de transação. Diante disso, a governança internacional deve estabelecer diretrizes claras, padronizar dados e incentivar a formação de consórcios setoriais envolvendo governos, empresas e sociedade civil, orientados por princípios de transparência e sustentabilidade.

Sob a ótica social e econômica, o blockchain pode reduzir assimetrias de informação, promovendo escolhas conscientes e maior confiança por parte dos consumidores. Porém, riscos como exclusão digital e concentração de poder exigem políticas inclusivas, programas de capacitação e incentivos à inovação local. Além disso, é necessário mitigar impactos concorrenciais decorrentes da transparência total.

Nesse sentido, recomendações práticas incluem: i) investir em infraestrutura digital e conectividade; ii) promover capacitação técnica para agricultores e pequenos empreendedores; iii) criar plataformas interoperáveis e de código aberto; e iv) estabelecer marcos regulatórios claros, acompanhados de parcerias público-privadas. Adicionalmente, é essencial fomentar pesquisa interdisciplinar e diálogo entre direito, tecnologia, economia e meio ambiente. Em síntese, o blockchain não é uma solução universal e infalível; entretanto, se apoiado por governança sólida e políticas adequadas, pode contribuir significativamente para a gestão de riscos e para a promoção da segurança alimentar.

## REFERÊNCIAS

ADAMASHVILI, N. *et al.* Blockchain-based wine supply chain for the industry advancement. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 23, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132313070>.

ALABRESE, M. Food security: different systems, different notions. **Perspectives on Federalism**, [s. l.], v. 11, 2019.

ALABRESE, M. **Riflessioni sul tema del rischio nel diritto agrário**. Pisa: Edizioni ETS, 2009.

ANASTASIADIS, F. *et al.* The role of traceability in end-to-end circular agri-food supply chains. **Industrial Marketing Management**, [s. l.], v. 104, p. 196–211, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.04.021>.

ARISI, M. Coltivare la fiducia? Una prospettiva giuridica su dati, blockchain e tracciabilità lungo la filiera agroalimentare. **Rivista di diritto alimentare**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 56–71, 2023.

BACHEV, H. Risk management in the agri-food sector. **Contemporary Economics**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 45–62, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5709/ce.1897-9254.73>.

BAGER, S. L.; SINGH, C.; PERSSON, U. M. Blockchain is not a silver bullet for agro-food supply chain sustainability: Insights from a coffee case study. **Current Research in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 4, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100163>.

BEHNKE, K.; JANSSEN, M. F. W. H. A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. **International Journal of Information Management**, [s. l.], v. 52, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.025>.

BENITES, R. G.; TRENTINI, F. Agricultura Familiar Sustentável: entre o Desenvolvimento Sustentável e a Segurança Alimentar. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 1–19, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2526-081/2019.v5i2.5813>.

BUMBLAUSKAS, D. *et al.* A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? **International Journal of Information Management**, [s. l.], v. 52, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.004>.

CANDIAN, A. Rischi e responsabilità nella filiera agricola. **Diritto Agroalimentare**, [s. l.], n. 3, p. 523–538, 2021.

CHANDAN, A.; JOHN, M.; POTDAR, V. Achieving UN SDGs in Food Supply Chain Using Blockchain Technology. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 3, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15032109>.

CLOKE, J. Empires of waste and the food security meme. **Geography Compass**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 622–636, set. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/263498106\\_Empires\\_of\\_Waste\\_and\\_the\\_Food\\_Security\\_Meme](https://www.researchgate.net/publication/263498106_Empires_of_Waste_and_the_Food_Security_Meme).

COMMANDRÉ, Y.; MACOMBE, C.; MIGNON, S. Implications for agricultural producers of using blockchain for food transparency, study of 4 food chains by cumulative approach.

**Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 17, 1 set. 2021. Disponível em:  
<https://doi.org/10.3390/su13179843>.

D'AVANZO, W. Blockchain e smart contracts per la gestione della filiera agroalimentare. Potenzialità, progetti e problemi giuridici dell'internet del valore. **Diritto Agroalimentare**, [s. l.], n. 1, p. 93–118, 2021.

D'AVANZO, W. Smart Farming. La quarta rivoluzione industriale e la digitalizzazione del settore agricolo. **Diritto Agroalimentare**, [s. l.], n. 2, p. 279–299, 2022.

DAL MAS, F. *et al.* Blockchain technologies for sustainability in the agrifood sector: A literature review of academic research and business perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 187, 1 fev. 2023. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122155>.

DAVIS, J. H.; GOLDBERG, R. A. **A concept of agribusiness**. Boston: Harvard University, 1957.

DAVIS, L.; NORTH, D. Institutional change and American economic growth: A first step towards a theory of institutional innovation. **The journal of economic history**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 131–149, 1970.

DE BATISTA, V. G. T. **Segurança e saúde no sistema agroalimentar: a revolução blockchain**. 2024. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Direito de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2024.

DE MELLO, A. M. *et al.* Meso-institutions as systemic intermediaries in sustainable transitions governance. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 52, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2024.100870>.

DEGHANI, M.; POPOVA, A.; GHEITANCHI, S. Factors impacting digital transformations of the food industry by adoption of blockchain technology. **Journal of Business and Industrial Marketing**, [s. l.], v. 37, n. 9, p. 1818–1834, 22 jul. 2022. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1108/JBIM-12-2020-540>.

DERANI, C. **Regulação ecológica dos sistemas alimentares**. 2024. Tese (apresentada para concurso público de Professor Titular). Departamento de Direito Econômico, Financeiro e Tributário da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

DI LAURO, A. Blockchain nel settore agroalimentare come discorso e come dispositivo. In: NAVARRETTA, E.; RICCI, L.; VALLINI, A. (org.). **Il potere della tecnica e la funzione del diritto: Um'analisi interdisciplinare di blockchain**. v. 1. Blockchain, democrazia e tutela dei diritti fondamentali. Torino: G. Giappichelli, 2021. Disponível em:  
<https://arpi.unipi.it/handle/11568/1117276>.

DONALDSON, A.; BRICE, J.; MIDGLEY, J. Navigating futures: Anticipation and food supply chain mapping. **Transactions of the Institute of British Geographers**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 606–618, 1 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/tran.12363>.



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**, [s. l.], v. 175, 1 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121403>.

GOLDBERG, R. A. **Agribusiness coordination**: A systems approach to the wheat, soybean, and Florida orange economies. Boston: Harvard University, 1968.

GOMES, L. A.; BELAIDI, R. A alimentação escolar como objeto de política pública para a promoção de segurança e soberania alimentar. In: TRENTINI, F.; BRANCO, P.; CATALAN, M. (coord.). **Direito e Comida. Do campo à mesa**: cidadania, consumo, saúde e exclusão social. Belo Horizonte: Forum, 2023. p. 237–258.

GUIDO, R. et al. A framework for food traceability: Case study-Italian extra-virgin olive oil supply chain. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.24867/IJEM-2020-1-252>.

GUMEROV, R. R. Food Security: New Approaches to Content Analysis and Evaluation. **Studies on Russian Economic Development**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 559–564, 1 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S107570072005007X>.

GUSTIN, M. B. S.; DIAS, M. T. F. **(Re)pensando a pesquisa jurídica**: teoria e prática. 3. ed. Belo Horizonte: Del Rey, 2010.

HERNANDEZ SAN JUAN, I. The blockchain technology and the regulation of traceability: The digitization of food quality and safety. **Eur. Food & Feed L. Rev.**, [s. l.], v. 15, p. 563, 2020. Disponível em: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/effl2020&div=90&id=&page=>.

IFTEKHAR, A. *et al.* Application of Blockchain and Internet of Things to Ensure Tamper-Proof Data Availability for Food Safety. **Journal of Food Quality**, [s. l.], v. 2020, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/5385207>.

KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? **Global Food Security**, [s. l.], v. 24, 1 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.

LANDINI, S. Assicurazione del rischio in agricoltura. **Diritto Agroalimentare**, [s. l.], n. 3, p. 539–555, 2021.

LARSON, R. B. Perceived food safety and food defense responsibility for farmers, transporters, retailers and consumers. **British Food Journal**, [s. l.], v. 123, n. 12, p. 4309–4331, 2 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BFJ-3-2021-261>.

LEIB, E. M. B.; POLLANS, M. J. The new food safety. **California Law Review**, [s. l.], v. 107, n. 4, p. 1173–1248, 2019. Disponível em: <https://www.californialawreview.org/print/the-new-food-safety>.

LONGO, F.; NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Estimating the Impact of Blockchain Adoption in the Food Processing Industry and Supply Chain. **International Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 16, n. 5–6, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2019-109>.

MA, J.; CHEN, J.; LIU, Y. Research on optimization of food supply chain considering product traceability recall and safety investment. **Managerial and Decision Economics**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 3953–3972, 1 dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mde.3639>.

MÉNARD, C. *et al.* Governing food safety through mesoinstitutions: A cross-country analysis of the dairy sector. **Applied Economic Perspectives and Policy**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 1722–1741, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/aep.13278>.

MÉNARD, C. Disentangling institutions: a challenge. **Agricultural and Food Economics**, [s. l.], v. 10, n. 16, 12 jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40100-22-0223-w>.

MÉNARD, C. Research frontiers of new institutional economics. **RAUSP Management Journal**, [s. l.], v. 53, p. 3–10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rauspm.2017.12.002>.

MUNN, Z. *et al.* Systematic Review or Scoping review? Guidance for Authors When Choosing between a Systematic or Scoping Review Approach. **BMC Medical Research Methodology**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>.

NORTH, D. **Institutions, Institutional Change and Economic Performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

NOTARNICOLA *et al.* Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 28, p. 1–8, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.007>.

POWELL, W. *et al.* Garbage in garbage out: The precarious link between IoT and blockchain in food supply chains. **Journal of Industrial Information Integration**, [s. l.], v. 25, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100261>.

RAINERO, C.; MODARELLI, G. Food tracking and blockchain-induced knowledge: a corporate social responsibility tool for sustainable decision-making. **British Food Journal**, [s. l.], v. 123, n. 12, p. 4284–4308, 2 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2020-921>.

RAMP, W. Complicating food security: Definitions, discourses, commitments. **Canadian Studies in Population**, [s. l.], v. 41, n. 3–4, p. 117–134, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.25336/P6VG77>.

REZAEI, L.; BABAZADEH, R. An Overview of The Impact of Blockchain Technology on the Meat, Fruit and Vegetable Supply Chains. **International Journal of Industrial Engineering & Production Research**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 1–26, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22068/ijiepr.33.4.1>.

ROGERSON, M.; PARRY, G. C. Blockchain: case studies in food supply chain visibility. **Supply Chain Management**, [s. l.], v. 25, n. 5, p. 601–614, 16 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SCM-8-2019-300>.

SABA, A. Blockchain e vino: una nuova frontiera. **Diritto Agroalimentare**, [s. l.], n. 3, p. 491–501, 2019.

SANTERAMO, F. G. *et al.* Assessed versus perceived risks: Innovative communications in agri-food supply chains. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 5, 1 maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods10051001>.

SHAKEEL, A. Food Security: Theorizing the Evolution and Involution of the Concept. **The Arab World Geographer**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 58–82, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326127965\\_Food\\_security\\_Theorizing\\_the\\_evolution\\_and\\_involution\\_of\\_the\\_concept](https://www.researchgate.net/publication/326127965_Food_security_Theorizing_the_evolution_and_involution_of_the_concept).

SILVA, S. P. **A Trajetória Histórica da Segurança Alimentar e Nutricional na Agenda Política Nacional: projetos, descontinuidades e consolidação.** Texto para discussão 1953. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3019/1/TD\\_1953.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3019/1/TD_1953.pdf).

SINGH, S.; SANWAR HOSEN, A. S. M.; YOON, B. Blockchain Security Attacks, Challenges, and Solutions for the Future Distributed IoT Network. **IEEE Access**, [s. l.], v. 9, p. 13938–13959, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051602>.

SIRSI, E. L'impiego di blockchain nell'agroalimentare: Introduzione alla giornata di studio. In: NAVARRETTA, E.; RICCI, L.; VALLINI, A. (org.). **Il potere della tecnica e la funzione del diritto: Um'analisi interdisciplinare di blockchain.** v. 1. Blockchain, democrazia e tutela dei diritti fondamentali. Torino: G. Giappichelli, 2021. Disponível em: <https://arpi.unipi.it/handle/11568/1117276>.

SONG, S. *et al.* Assessing Safety of Market-Sold Fresh Fish: Tracking Fish Origins and Toxic Chemical Origins. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 56, n. 13, p. 9505–9514, 5 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00495>.

SPOTO, G. Gli utilizzi della Blockchain e dell'Internet of Things nel settore degli alimenti. **Rivista di diritto alimentare**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 25–35, jan./mar. 2019.

STAZI, A.; JOVINE, R. Food traceability in Europe, the US and China: Comparative law and regulatory technology. **BioLaw Journal**, [s. l.], n. 2, 2022. Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4163983](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4163983).

TISCINI, R. *et al.* The blockchain as a sustainable business model innovation. **Management Decision**, [s. l.], v. 58, n. 8, p. 1621–1642, 4 dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/MD-9-2019-1281>.

VAN HILTEN, M.; WOLFERT, S. 5G in agri-food - A review on current status, opportunities and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 201, 1 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107291>.



VON BRAUN, J. *et al.* (ed.). **Science and Innovations for Food Systems Transformation**. 1. ed. [s. l.]: Springer International Publishing, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-31-15703-5>.

WALLACE, C. A.; MANNING, L. Food provenance: Assuring product integrity and identity. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, [s. l.], v. 15, n. 32, 1 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202015032>.

WILLIAMSON, O. E. The new institutional economics: taking stock, looking ahead. **Journal of Economic Literature**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 595–613, set. 2000.

WÜNSCHE, J. F.; FERNQVIST, F. The Potential of Blockchain Technology in the Transition Towards Sustainable Food Systems. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 13, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14137739>.

YONTAR, E. Critical success factor analysis of blockchain technology in agri-food supply chain management: A circular economy perspective. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 330, 15 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117173>.

ZHAI, Q.; SHER, A.; LI, Q. The Impact of Health Risk Perception on Blockchain Traceable Fresh Fruits Purchase Intention in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 13, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19137917>.

ZHANG, X. *et al.* Information Traceability Model for the Grain and Oil Food Supply Chain Based on Trusted Identification and Trusted Blockchain. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 19, n. 11, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph19116594>.

ZHAO, G. *et al.* Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 109, p. 83–99, 1 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>.

ZYLBERSZTAJN, D. **Estruturas de governança e coordenação do agribusiness: uma aplicação da nova economia das instituições**. 1995. Tese (Livre Docência) – FEA/USP, São Paulo, 1995.

ZYLBERSZTAJN, D.; SZTAJN, R. Análise Econômica do Direito e das Organizações. In: ZYLBERSZTAJN, D.; SZTAJN, R. (org.). **Direito e Economia**. Análise Econômica do Direito e das Organizações. Rio de Janeiro: Campus, 2005. p. 17–28.