



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

Tendências Tecnológicas em Rastreabilidade Alimentar: Vantagens e Desafios

Dayana Miluska Heredia Leon

PPGEP- UTFPR- LESP- Ponta Grossa

Pablo Isaias Rojas Fernandez

PPGEP- UTFPR- Ponta Grossa

Fabio Neves Puglieri

PPGEP- UTFPR- LESP- Ponta Grossa

Cassiano Moro Piekarski

PPGEP- UTFPR- LESP- Ponta Grossa

Resumo: A rastreabilidade de alimentos é uma ferramenta fundamental para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental. As tecnologias que facilitam a rastreabilidade evoluíram ao longo do tempo, oferecendo novas capacidades e vantagens para as empresas. Este estudo centrou-se em identificar as tendências, vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias de rastreabilidade disponíveis para a indústria alimentar. Para isso, foi realizado uma análise de literatura pelo Methodi Ordinatio, em combinação com uma análise bibliométrica e de conteúdo. Os resultados do estudo revelaram que existem diversas tecnologias com diferentes vantagens e desvantagens que influenciam de forma significativa a rastreabilidade de alimentos. Por um lado, existem tecnologias tradicionais como o código de barras, RFID, códigos de barras genéticos, análise isotópica e hologramas. Por outro lado, existem tecnologias emergentes como o blockchain, embalagem inteligente, nanotecnologia, IoT, Big Data e inteligência artificial. As tecnologias tradicionais oferecem vantagens em termos de eficiência e custo, mas têm limitações em termos de segurança e transparência. As tecnologias emergentes oferecem vantagens em termos de segurança e transparência, mas têm limitações em termos de custo e escalabilidade. O estudo concluiu que as tecnologias de rastreabilidade oferecem oportunidades para otimizar a eficiência e a segurança na cadeia de suprimento de alimentos.

Palavras-chave: Rastreabilidade, Tecnologias, Cadeia de abastecimento alimentar.

Technological Trends in Food Traceability: Advantages and Challenges

Abstract: Food traceability is a fundamental tool for food safety and environmental sustainability. Technologies facilitating traceability have evolved, offering new capabilities and advantages for businesses. This study focused on identifying trends, benefits, and disadvantages of different traceability technologies available in the food industry. In this sense, to achieve the study objective, a comprehensive literature analysis was conducted using the Methodi Ordinatio, combined with bibliometric and content analysis. The study's findings revealed various technologies with different advantages and disadvantages that significantly influence food traceability. On one hand, there are traditional technologies such as barcodes, RFID, genetic barcodes, isotopic analysis, and holograms. On the other hand, there are emerging technologies such as blockchain, smart packaging, nanotechnology, IoT, Big Data, and artificial intelligence. Traditional technologies offer advantages in terms of efficiency and cost but have limitations regarding security and transparency. Emerging technologies provide benefits in terms of security and transparency but have limitations in terms of cost and scalability. The study concluded that traceability technologies offer opportunities to optimize efficiency and safety in the food supply chain.

Keywords: Traceability, Technologies, Food supply chain.

1. Introdução

A rastreabilidade é uma parte da gestão logística que captura, armazena e transmite informações adequadas sobre um alimento, animal, produtor de alimento ou substância em

toda a etapa da cadeia de suprimento de alimentos, para que o produto possa ser verificado em quanto a controle de segurança e qualidade, rastreado para cima e seguido para baixo em qualquer momento (BOSONA; GEBRESENBET, 2013). Da mesma forma, Corallo *et al.*, (2020) acrescenta que a rastreabilidade é a capacidade de seguir um produto ao longo de seu ciclo de vida, gerenciando as informações geradas por vários atores. Nesse contexto, outros estudos determinam que a rastreabilidade tem efeitos positivos com a redução dos desperdícios alimentares (GLEW *et al.*, 2021), o aumento da transparência em toda a cadeia de suprimentos (ASTILL *et al.*, 2019a) e a gestão de crises (SMITH *et al.*, 2005).

Os fatores que influenciam a rastreabilidade de alimentos podem ser divididos em várias categorias (MATTEVI; JONES, 2016; OPARA; MAZAUD, 2001). Uma dessas categorias são os fatores tecnológicos (MATTEVI; JONES, 2016). Gupta *et al.*, (2023), aponta que a adoção de tecnologias aumenta a eficiência, a velocidade de coleta de informações e melhora a transparência em toda a cadeia. Um exemplo é o uso de *blockchain*, que foi integrado em plataformas como BioTrak para monitorar a cadeia de suprimento de alimentos e garantir sua transparência, rastreabilidade e responsabilidade ao promover ou oferecer o rastreamento da origem do produto mediante a atribuição de um identificador único, e seu rastreamento ao longo da cadeia de suprimento desde a fazenda até as prateleiras das lojas (DONG; JIANG; XU, 2023). Outro exemplo é a nanotecnologia, que pode afetar a rastreabilidade de alimentos por meio do desenvolvimento de novas tecnologias como NanoTracer, que permite a rastreabilidade molecular rápida e imediata de qualquer alimento, e requer instrumentação limitada juntamente com reagentes rentáveis (VALENTINI *et al.*, 2017).

Apesar da grande diversidade de literatura em relação às tecnologias para a rastreabilidade alimentar, não foram encontradas evidências de artigos que tenham se concentrado em avaliar as tendências, vantagens e desvantagens de cada tecnologia dentro desta da cadeia de suprimentos alimentar. Essa falta de informação dificulta o planejamento e a implementação de sistemas de rastreabilidade eficazes. Em consequência, o presente estudo aborda essa realidade, e se coloca a seguinte pergunta de pesquisa: Quais são as tendências, vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias de rastreabilidade disponíveis para a indústria alimentar?

O propósito deste estudo é identificar essas variáveis para que os tomadores de decisão possam planejar de maneira mais eficiente a implementação de novas tecnologias para a rastreabilidade de produtos alimentícios. Este estudo se divide em quatro seções principais: introdução, metodologia, resultados e conclusões.

2. Metodologia

Os procedimentos metodológicos são descritos nas seguintes etapas: (2.1) construção do portfólio de pesquisa, (2.2) análise bibliométrica e (2.3) análise de conteúdo. A Figura 1 descreve detalhadamente essas etapas.

2.1 Construção de portfólio da pesquisa

Este estudo realizou uma revisão sistemática da literatura utilizando a metodologia multicritério Ordinato de Pagani *et al.*, (2015). Na metodologia, é criado um portfólio de artigos, a partir da aplicação de uma equação denominada InOrdinatio.

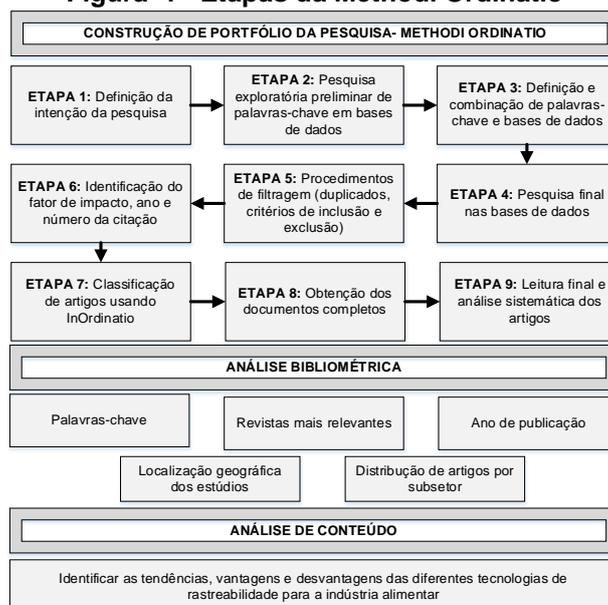
A seguir, são descritas as nove etapas:

Etapa 1 Definição da intenção da pesquisa: A intenção da pesquisa foi identificar as tendências, vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias de rastreabilidade.

Etapa 2 Pesquisa exploratória preliminar de palavras-chave em bases de dados: Foi realizada uma exploração preliminar com o objetivo de identificar palavras-chave por meio de buscas em diversas bases de dados.

Etapa 3 Definição e combinação de palavras-chave e bases de dados: Após realizar a exploração preliminar, optou-se pela escolha das bases de dados Scopus, Science Direct e Web of Science.

Figura 1– Etapas da Methodi Ordinatio



Fonte: Adaptado de Paganí et al., (2015)

Na Tabela 1, é fornecida uma descrição detalhada da combinação de palavras-chave e o número de artigos por base de dados.

Tabela 1 – Combinação de palavras-chave na bases de dados

Combinação de palavras-chave	Scopus	Science Direct	Web of Science	Total artigos
TITLE-ABS-KEY ("food" and "traceability" and "Supply Chain") AND TITLE-ABS-KEY (opportunities OR Technology)	865	110	516	1491

Nota: Não houve linha de corte temporal

Fonte: Autoria própria (2023)

Etapa 4 Pesquisa final nas bases de dados: Com a combinação de palavras-chave determinada na etapa anterior, foram realizadas as buscas finais. A busca definitiva de artigos deu um total bruto de 1491 artigos, conforme observado na Tabela 1.

Etapa 5 Procedimentos de filtragem: Após a realização das buscas finais nas bases de dados, foram realizados processos de filtragem para eliminar artigos duplicados, derivados de livros e capítulos de livros. Sendo descartados artigos que abordavam temas fora do escopo desta pesquisa. Os resultados desses processos estão detalhados na Tabela 2, e os critérios de inclusão e exclusão aplicados neste estudo na Tabela 3.

Tabela 2– Procedimento de filtragem

Artigos duplicados	Artigos fora do tópico	Total de artigos removidos	TOTAL DE ARTIGOS
212	1216	1428	63

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 3– Critérios de inclusão e exclusão (título, resumo, palavras-chave e conteúdo)

Critério de inclusão	Critério de exclusão
✓ Artigos de bases acadêmicas.	✓ Tecnologias aplicadas a outros setores como o farmacêutico, o calçado.
✓ Trabalhos focados em temas sobre oportunidades e tecnologias de rastreabilidade na área de alimentos.	✓ Trabalhos relacionados à nutrição, saúde, construção.
✓ Artigos relacionados ao setor alimentício	

Fonte: Autoria própria (2023)

Etapa 6 Identificação do fator de impacto, ano e número de citação: Uma vez definido o portfólio final de artigos, procedeu-se à identificação do Fator de Impacto (FI), o número de citações (Ci) e o ano de publicação (*PublishYear*). A obtenção do FI foi realizada por meio da utilização da métrica *Journal Citation Reports* (JCR).

Etapa 7 Classificação dos artigos utilizando InOrdinatio: Após a coleta de todos os valores das variáveis citadas acima, foi aplicada a Equação InOrdinatio (1).

$$\text{InOrdinatio} = \left(\frac{\text{IF}}{1000} \right) + \alpha * [10 - (\text{Ano de pesquisa} - \text{Ano de Publicação})] + \left(\sum c_i \right) \quad (1)$$

Neste estudo foi estabelecido um valor de α igual a 10, considerando a importância do fator temporal. Isso resultou na formação de um portfólio composto por 63 artigos científicos, classificados de acordo com sua relevância (Tabela 4). Alguns artigos presentes nesta tabela apresentam um valor negativo, envolvendo um período de tempo superior a 10 anos. Assim, mesmo não sendo atuais os estudos e resultando um valor de InOrdinatio muito baixo ou até negativo, optou-se por analisar esses artigos.

Etapa 8 Obtenção dos documentos completos: Foi possível obter as versões completas dos 63 artigos que foram previamente classificados, conforme Tabela 4.

Etapa 9 Leitura e análise sistemática definitiva dos artigos: Obtido o portfólio final dos 63 artigos organizados, iniciou-se a leitura e análise de cada um deles.

2.2 Análise bibliométrica

Após obter o portfólio de artigos foi realizada uma análise desses documentos utilizando o software VOSviewer (V1.6.18).

2.3 Análise de conteúdo

A análise de conteúdo buscou identificar as tecnologias para facilitar a rastreabilidade da cadeia de suprimentos alimentar nos artigos selecionados (Tabela 5).

3. Resultados e discussão

A metodologia utilizada classificou os artigos em ordem de relevância, conforme apresentado na Tabela 4. Os softwares que auxiliaram na construção dessa tabela foram Mendeley (V1.19.8), Jab-Ref (V5.2) e a planilha-Ranking (1.0) de Pagani *et al.*, (2015).

Tabela 4– Ranking de acordo com o Methodi Ordinatio de Pagani *et al.*, (2015)

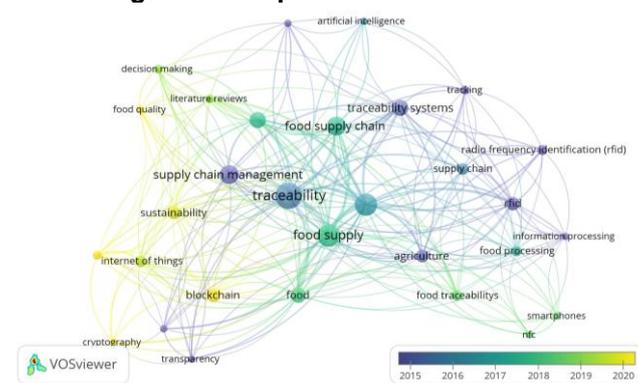
Ranking, Artigo, Autor	In-Ordinatio
1.- Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives (AUNG <i>et al.</i> , 2014)	1360,01
2.- Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain (BOSONA <i>et al.</i> , 2013)	775,01
3.- Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges (FENG <i>et al.</i> , 2020)	545,01
4.- Systems for sustainability and transparency of food supply chains (WOGNUM <i>et al.</i> , 2011)	482,01
5.- Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions (ASTILL, 2019)	392,01
6.- Food traceability: New trends and recent advances. A review (BADIA <i>et al.</i> , 2015)	390,01
7.- Traceability from a European perspective (SCHWÄGELE, 2005)	382,01
8.- A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology (COSTA, 2013)	374,00
9.- Processing- and product-related causes for food waste and implications (RAAK <i>et al.</i> , 2017)	283,01
10.- Traceability implementation in food supply chain: A grey-DEMATEL approach (HALEEM, 2019)	196,01
11.- Agriculture-Food Supply Chain Management Based on Blockchain and IoT: A Narrative on Enterprise Blockchain Interoperability (BHAT <i>et al.</i> , 2022)	186,00
12.- Issues and Challenges in the Supply Chain of Fruits & Vegetables Sector in India (NEGI <i>et al.</i> , 2015)	186,00
13.- Traceability in food processing: problems, methods, and performance evaluations (QIAN <i>et al.</i> , 2022)	159,01
14.- Critical success factors influencing artificial intelligence adoption in FSC (DORA <i>et al.</i> , 2022)	157,01
15.- Smart traceability for food safety (YU <i>et al.</i> , 2022)	155,01
16.- Indian perspective in food traceability: A review (DANDAGE <i>et al.</i> , 2017)	155,01
17.- Development and evaluation on a RFID-based traceability system for cattle/beef (FENG <i>et al.</i> , 2013)	154,01
18.- How might broad adoption of blockchain-based traceability impact the US fresh produce supply chain? (COLLART <i>et al.</i> , 2022)	139,00
19.- Benefits of traceability in fish supply chains - case studies (MAI <i>et al.</i> , 2010)	133,00
20.- A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology (QIAN <i>et al.</i> , 2012)	131,01
21.- Supply chain traceability: a review of the benefits and its relationship with supply chain resilience (RAZAK <i>et al.</i> , 2021)	123,01
22.- A proposed framework model for dairy supply chain traceability (TAN <i>et al.</i> , 2020)	119,00
23.- Roles of Technology in Improving Perishable Food Supply Chains (HAJI <i>et al.</i> , 2020)	118,00
24.- Implementation of relevant fourth industrial revolution innovations across the supply chain of fruits and vegetables: A short update on Traceability 4.0 (HASSOUN <i>et al.</i> , 2023)	112,01
25.- Smart packaging. A pragmatic solution to approach sustainable food waste management (GANESON <i>et al.</i> , 2023)	111,01
26.- Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry (KHANNA <i>et al.</i> , 2022)	108,00

Ranking, Artigo, Autor	In-Ordinatio
27.- NFC-Based Traceability in the Food Chain (PIGINI <i>et al.</i> , 2017)	108,00
28.- Assessing the impact of covid-19 on sustainable food supply chains (KAZANCOGLU <i>et al.</i> , 2022)	106,00
29.- Factors affecting the diffusion of traceability practices in an imported fresh produce supply chain in China (YI <i>et al.</i> , 2022)	101,00
30.- Food traceability system in India (RAO <i>et al.</i> , 2022)	100,00
31.- A Delphi Study on Blockchain Application to Food Traceability (ALDRIGHETTI <i>et al.</i> , 2021)	99,00
32.- Adoption of internet of things among Malaysian halal agro-food smes and its challenges (AHMAD TARMIZI <i>et al.</i> , 2020)	99,00
33.- Prioritizing drivers to creating traceability in the food supply chain (PATIDAR <i>et al.</i> , 2021)	97,00
34.- Typical traceability barriers in the Indonesian vegetable oil industry (GUNAWAN <i>et al.</i> , 2021)	94,00
35.- Production-Distribution Model Considering Traceability and Carbon Emission: A Case Study of the Indonesian Canned Fish Food Industry (HANDAYANI <i>et al.</i> , 2021)	93,00
36.- Blockchain Integration with end-to-end traceability in the Food Supply Chain (BANSAL, 2022)	92,00
37.- Food Traceability: New Directions and Current Advances (HUSEIN <i>et al.</i> , 2022)	90,00
38.- Development of novel strategies for designing sustainable Indian (Patidar <i>et al.</i> , 2018)	89,00
39.- Food supply chain: Are UK SMEs aware of concept, drivers, benefits and barriers, and frameworks of traceability? (MATTEVI <i>et al.</i> , 2016)	80,00
40.- Conceptual study of problems and Challenges associated with the FSC (ISLAM <i>et al.</i> , 2021)	80,00
41.- Analysing attributes of food supply chain management: A comparative study (SUFİYAN, 2019)	79,00
42.- Food traceability in fruit and vegetables supply chain (ConTI <i>et al.</i> , 2020)	77,00
43.- Traceability Systems and Technologies for Better FSCM (KUMPERŠČAK <i>et al.</i> , 2019)	76,00
44.- Managing traceability in the meat processing industry (KAFETZOPOULOS <i>et al.</i> , 2020)	74,00
45.- Defining and Analyzing Traceability Systems in Food Supply Chains (SCHOLTEN <i>et al.</i> , 2016)	73,00
46.- Meat traceability and certification in meat supply chain (GIRISH <i>et al.</i> , 2019)	69,00
47.- The future of traceability within the U.S. food industry chain: A business case (KUMAR, 2015)	61,00
48.- A Review of Food Traceability in Food Supply Chain (ZHANG <i>et al.</i> , 2017).	58,00
49.- Using RFID technology in food produce traceability (CHEN <i>et al.</i> , 2008)	53,00
50.- An RFID-based traceability system: A case study of rice supply chain (JAKKHUPAN, 2015)	52,00
51.- Effective Use of Food Traceability in Meat Supply Chains (HOBBS <i>et al.</i> , 2016)	44,00
52.- Hacia un Marco Conceptual Común sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro (RINCÓN <i>et al.</i> , 2017)	42,00
53.- Design of an architecture for the evaluation of traceability in the supply chain (RIAÑO <i>et al.</i> , 2017)	40,00
54.- The Barriers to Traceability and their Potential Solutions (REGAN <i>et al.</i> , 2012)	39,00
55.- Barriers and dangers of traceability (MORANA <i>et al.</i> , 2016)	35,00
56.- Traceability in Food Process Industry: A Review (PRAJAPATI <i>et al.</i> , 2016)	31,00
57.- Traceability in Food and Agricultural Products (BANERJEE <i>et al.</i> , 2015)	20,00
58.- Adding value of food traceability to the business (WANG <i>et al.</i> , 2009)	1,00
59.- Modelling a traceability system for a food supply chain (DE CINDIO <i>et al.</i> , 2011)	-8,00
60.- Traceability in the meat, poultry and seafood industries (MCMILLIN <i>et al.</i> , 2012)	-8,00
61.- Traceability in postharvest quality management (BOLLEN <i>et al.</i> , 2006)	-24,00
62.- Traceability and IT: Implications for the future international competitiveness and structure of China's vegetable sector (XUE <i>et al.</i> , 2007)	-48,00
63.- Traceability in the agri-food sector: Issues, insights and implications (HOBBS <i>et al.</i> , 2006)	-53,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Uma vez classificados os artigos, procedeu-se à análise do portfólio final. Inicialmente, elaborou-se um mapa de palavras-chave utilizando o software VOSviewer (V1.6.18), que permitiu determinar a frequência dessas palavras nos artigos (Figura 2).

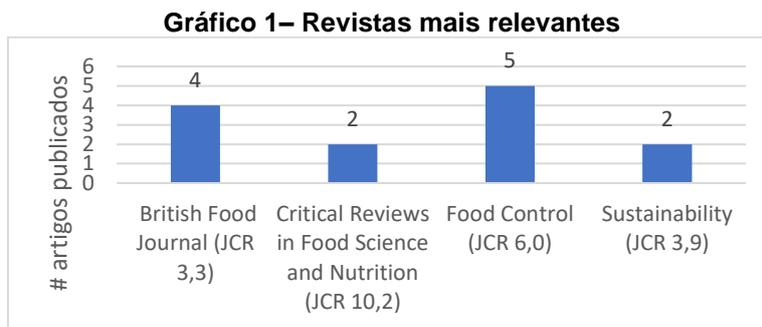
Figura 2 –Mapa de Palavras- chave



Fonte: Autoria própria (2023)

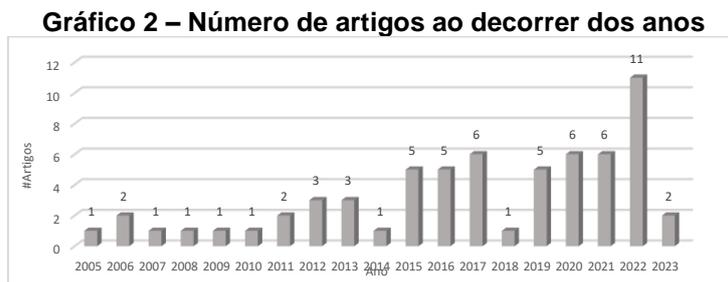
Os termos "*traceability*", "*supply chain*" e "*food supply*" foram os mais recorrentes. Além disso, o mapa de palavras evidenciou a presença de termos como "RFID", "NFC", "*Blockchain*", "*Artificial intelligence*" e "IoT", que representam as tecnologias que facilitam a rastreabilidade dos alimentos. Observou-se também que os termos "*Blockchain*" e "*sustainability*" estão destacados em amarelo, indicando que são temas recentes relacionados à área de estudo.

Após análise elaborou-se o Gráfico 1 que mostra as revistas mais relevantes no campo de pesquisa. Neste gráfico, observa-se que a revista com o maior número de artigos é a *Food Control* (JCR 6), seguida pela *British Food Journal* (JCR 3,3), *Sustainability* (JCR 3,9) e *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (JCR 10,2). Portanto, o portfólio está publicado em revistas de alto impacto, o que respalda a relevância dos dados obtidos por este estudo.



Fonte: Autoria própria (2023)

Depois de análise procedeu-se à elaboração do Gráfico 2, que representa a evolução temporal do conhecimento no tema estudado. Em resumo, essa análise mostra o crescimento quantitativo das publicações e destaca a contínua relevância da pesquisa nesse campo.



Fonte: Autoria própria (2023)

Ao examinar a evolução temporal, elaborou-se a Figura 3, que mostra a distribuição geográfica do portfólio de artigos selecionados. Nessa figura, observa-se que a Índia concentra a maior quantidade de publicações, com um total de 7 estudos, seguida pela China com 5, Reino Unido e Estados Unidos com 3 estudos cada. Destacando a relevância internacional do tema de pesquisa. No entanto, é importante notar que 33 artigos não fornecem detalhes específicos sobre a localização de suas pesquisas. Em resumo, esta análise ressalta a necessidade de uma apresentação mais detalhada em trabalhos futuros.

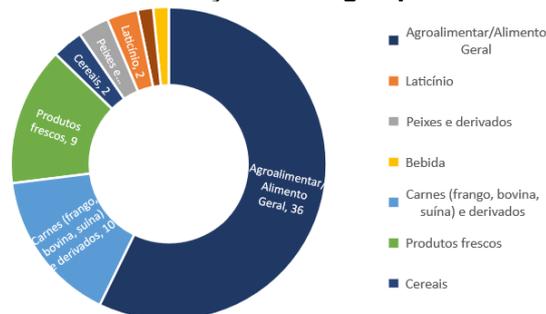
Figura 3– Localização geográfica dos estudos



Fonte: Autoria própria (2023)

Após análise geográfica dos artigos, procedeu-se à análise do subsetor alimentar do portfólio. Como resultado foi elaborado o Gráfico 3, que mostra a distribuição de artigos por subsetor. Por um lado, 27 artigos especificam o subsetor alimentar da seguinte maneira: 10 artigos focam no subsetor de carnes e seus derivados; 9 concentram-se no subsetor de produtos frescos; lácteos, cereais, peixes e seus derivados têm 10 artigos cada; finalmente, os setores de bebidas e de óleo vegetal têm 1 estudo cada. Por outro lado, observa-se que 36 artigos avaliam as tecnologias de rastreabilidade para o setor "Agroalimentar ou de alimentos em geral" sem especificar o tipo de alimento abordado. Em resumo, essa análise detalhada revela uma ampla cobertura dos diferentes subsetores do setor alimentar, destacando a necessidade de mais pesquisa em áreas específicas para promover a inovação e o desenvolvimento sustentável na indústria alimentar global.

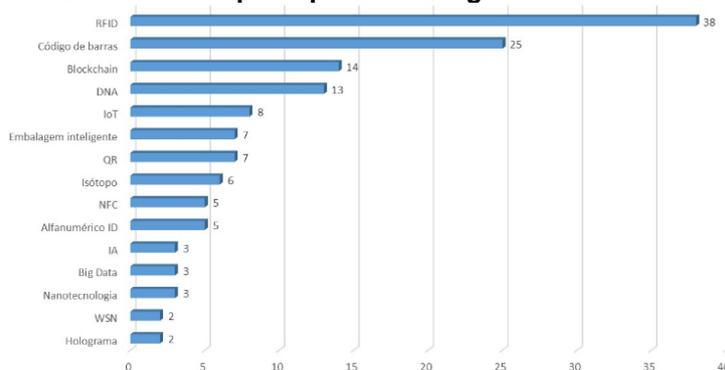
Gráfico 3 – Distribuição de artigos por subsetor



Fonte: Autoria própria (2023)

A Tabela 5 apresenta em detalhes as tecnologias que facilitam a rastreabilidade nas cadeias alimentares, e o Gráfico 4 mostra a quantidade de tecnologias citadas no portfólio de artigos. A tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) foi a mais recorrente e mencionada em 38 estudos. Em seguida, o sistema de identificação automática por código de barras ocupou o segundo lugar com 25 estudos. A tecnologia *Blockchain* ocupou o terceiro lugar com 14 estudos. A tecnologia de identificação por código de barras genético (DNA *barcoding*) ficou em quarto lugar, com 13 estudos. Em seguida, a tecnologia com *IoT* ocupou o quinto lugar, com 8 estudos; a tecnologia de embalagem inteligente, ficou em sexto lugar, com 7 estudos; a tecnologia de resposta rápida (QR) ocupou o sétimo lugar, com 7 estudos; a tecnologia de análise isotópica, que ficou em oitavo lugar, com 6 estudos publicados. Também foram identificadas tecnologias como comunicação de campo cercado ou NFC (*Near Field Communication*) e codificação alfanumérica, com 5 estudos cada uma. Além disso, a inteligência artificial, o *Big Data* e a nanotecnologia tiveram 3 estudos cada. Finalmente, a tecnologia de sensor de redes sem fio (WSN) e hologramas tiveram dois estudos cada. Essas tecnologias são as mais utilizadas na indústria alimentar, e suas aplicações podem melhorar a eficiência, transparência e segurança da cadeia de suprimentos alimentar.

Gráfico 4– As principais tecnologias nos estudos



Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 5– Descrição das oportunidades tecnológicas

Oportunidades Tecnológicas	
<p>Tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID): A tecnologia RFID oferece uma valiosa oportunidade para melhorar a gestão de informações na cadeia de suprimento. Através de chips identificáveis por ondas de rádio, as etiquetas RFID de alta frequência possibilitam o processamento eficiente de dados em todas as etapas da cadeia, desde a colheita até a classificação e o reembalagem (COSTA et al., 2013; MCMILLIN; LAMPILA; MARCY, 2012; KUMPERŠČAK et al., 2019).</p>	
<p>Vantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Maior velocidade de dados e tamanho de memória; — Etiquetas reversíveis; — Leitura simultânea de etiquetas e não precisa de linha de visão (JAKKHUPAN et al., 2015). 	<p>Desvantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alto custo e requer um leitor; — Não há cooperação entre os dispositivos; — Suscetível a interferir com sua frequência (JAKKHUPAN et al., 2015).
<p>Tecnologia de código de barras: Os códigos de barras são uma série de barras e espaços codificados que representam informações sobre um produto. Essas informações podem incluir o nome do produto, o código do produto, a data de validade, a origem e o lote. Esse código pode ser lido usando um scanner, que envia as informações do código para um banco de dados central, onde é armazenado e pode ser acessado (KUMPERŠČAK et al., 2019).</p>	
<p>Vantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Econômico; — Fácil de usar; — Rastreabilidade exata. 	<p>Desvantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Informação limitada e requer linha de visão — O scanner só pode ler uma etiqueta por vez; — A maioria dos scanners requer a intervenção humana (JAKKHUPAN et al., 2015).
<p>Tecnologia blockchain: A tecnologia <i>blockchain</i> para rastreabilidade de alimentos é um sistema que utiliza uma cadeia de blocos para registrar informações sobre alimentos ao longo da cadeia de suprimentos. Os dados na cadeia de blocos são imutáveis, o que significa que não podem ser modificados sem o consentimento de todas as partes envolvidas (ALDRIGHETTI et al., 2021; FENG et al., 2020; KUMPERŠČAK et al., 2019).</p>	
<p>Vantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Transparência e rastreamento em tempo real — Registro de segurança (KHANNA et al., 2022); — Registro descentralizado (ALDRIGHETTI; CANAVARI; HINGLEY, 2021); — Os dados são imutáveis (FENG et al., 2020). 	<p>Desvantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alto custo; — Não verifica os dados inseridos, por exemplo, se um dos atores inserir dados incorretos; — Escalabilidade (COLLART; CANALES, 2022); — Complexidade (BHAT et al., 2022).
<p>Tecnologia de código de barras genético (DNA): A tecnologia de código de barras genético para rastreabilidade de alimentos é um sistema que utiliza o DNA para rastrear a origem dos alimentos ao longo da cadeia de fornecimento. Para usar essa tecnologia, é extraída uma amostra de DNA do produto (MCMILLIN; LAMPILA; MARCY, 2012; KUMPERŠČAK et al., 2019).</p>	
<p>Vantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Identificação única e requer uma pequena quantidade de amostras biológicas; — Alto grau de precisão para prevenir fraude alimentar e melhorar a segurança alimentar (HUSEIN et al., 2022). 	<p>Desvantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Complexidade e dependência da amostra; — Dependência de uma única região do DNA mitocondrial; — Custo (RINCÓN BALLESTEROS; FONSECA RAMÍREZ; ORJUELA-CASTRO, 2017).
<p>Tecnologia de resposta rápida (QR): Esta tecnologia é um sistema que utiliza códigos QR para identificar e rastrear alimentos ao longo da cadeia de fornecimento. Esses códigos contêm informações sobre o produto, como o nome do produto, o código do produto, a data de validade, a origem e o lote (TAN; NGAN, 2020 ;RAO; SHUKLA; RIZWANA, 2022).</p>	
<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alto grau de precisão (HUSEIN et al., 2022); — Alta velocidade de digitalização (QIAN et al., 2012); — Alta capacidade e baixo custo (QIAN et al., 2012); — Fácil acesso pelos clientes (KHANNA et al., 2022); — Maior capacidade de armazenamento do que o código de barras (HUSEIN et al., 2022). 	<p>Desvantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alcance limitado (HUSEIN et al., 2022); — Suscetível a erros em caso de etiqueta danificada ou digitalização incorreta (KUMPERŠČAK et al., 2019); — Requer um dispositivo inteligente para leitura (HUSEIN et al., 2022);
<p>Análise Isotópica: É uma técnica para rastreabilidade de alimentos que permite determinar a origem geográfica, autenticidade e qualidade dos alimentos. Os isótopos são átomos do mesmo elemento que têm o mesmo número de prótons, mas um número diferente de nêutrons. Isso lhes dá uma massa diferente, que pode ser medida usando espectrometria de massa (BADIA-MELIS et al., 2015; AUNG; CHANG, 2014; HUSEIN et al., 2022).</p>	
<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> — Tamanho da amostra pequeno (QIAN et al., 2022); — Alta precisão para autenticação de alimentos (RIANO; CAMACHO, 2017). 	<p>Desvantagens (QIAN et al., 2022);</p> <ul style="list-style-type: none"> — Custo; — Fornece informações limitadas; — Complexidade.

<p>Tecnologia de Redes de Sensores Sem Fio (WSN): A tecnologia WSN para rastreabilidade de alimentos utiliza redes de sensores sem fio para coletar dados ao longo da cadeia de fornecimento. Os nós sensores coletam informações ambientais, como temperatura e umidade, e os dados são convertidos em formato digital e armazenados em um banco de dados para monitoramento (KUMPERŠČAK et al., 2019; AUNG; CHANG, 2014).</p>	
<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> — Promove a visibilidade da cadeia de suprimentos sem a necessidade de leitura direta (RAHMAN et al., 2021); — Comunicação segura (AUNG; CHANG, 2014); — Fornece monitoramento em tempo real (GUPTA et al., 2023a); — O custo de implementação é econômico (KUMPERŠČAK et al., 2019). 	<p>Desvantagens (KUMPERŠČAK et al., 2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Velocidade mais lenta em comparação com uma rede com fio; — Configuração complicada; — Incapaz de controlar a propagação de ondas, baixa velocidade de comunicação; — Necessita de técnicas de economia de energia para detecção contínua (AUNG; CHANG, 2014)
<p>Códigos alfanuméricos: Os códigos alfanuméricos são uma combinação de caracteres alfabéticos e numéricos de vários tamanhos frequentemente encontrados nos rótulos de produtos. No contexto da rastreabilidade de alimentos, os códigos alfanuméricos são usados para identificar de forma única um produto ou lote ao longo da cadeia de fornecimento (AUNG; CHANG, 2014; HUSEIN et al., 2022).</p>	
<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> — Barato e fácil de usar (AUNG; CHANG, 2014); — Leitura fácil (HUSEIN et al., 2022); — Durável (HUSEIN et al., 2022); — Protege manipulação externa (HUSEIN et al., 2022). 	<p>Desvantagens (AUNG; CHANG, 2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> — A leitura/escrita de código não é automática; — Não é possível coletar informações ambientais; — Suscetível a erros (BOLLEN; RIDEN; OPARA, 2006).
<p>Smart packaging: O embalagem inteligente ou <i>Smart Packaging</i>, é descrito como qualquer tipo de embalagem com capacidade de realizar funções inteligentes. Para coletar informações ao longo da cadeia, existem duas categorias: (1) aqueles que incorporam indicadores e sensores nas embalagens de alimentos, permitindo a coleta de dados sobre mudanças ambientais e o histórico das condições do produto e (2) suportes de dados projetados para armazenar ou transmitir informações (YU et al., 2022).</p>	
<p>Vantagens (GANESON et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Oferece boa transparência de rastreabilidade; — Maior precisão de inventário. 	<p>Desvantagens (GANESON et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alto custo necessário para fabricar e adotar sistemas de embalagens inteligentes.
<p>Nanotecnologia: A nanotecnologia para rastreabilidade de alimentos é baseada no uso de nanopartículas para identificar e rastrear produtos alimentícios ao longo da cadeia de fornecimento. As nanopartículas são partículas muito pequenas que podem ser usadas para marcar ou rotular produtos (HUSEIN et al., 2022).</p>	
<p>Vantagens (NEETHIRAJAN; JAYAS, 2011)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Promove uma vida útil mais longa e embalagens mais seguras; — Códigos de barras nano invisíveis e melhor monitoramento. 	<p>Desvantagens (NEETHIRAJAN; JAYAS, 2011)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Preocupações de segurança com possível toxicidade de nanomateriais.
<p>Inteligência Artificial (IA): Os habilitadores da Rastreabilidade 4.0, especialmente IA, IoT, <i>blockchain</i> e BD, estão sendo cada vez mais aplicados para enfrentar desafios complexos associados à rastreabilidade de alimentos (HASSOUN et al., 2023). A Inteligência Artificial (IA) fornece soluções para a produção e fornecimento de alimentos, reduzindo o desperdício e garantindo a segurança alimentar (DORA et al., 2022).</p>	
<p>Vantagens (HASSOUN et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Analisa dados passados e faz projeções; — Identificação rápida e identifica alvos de melhoria; — Cadeias mais eficientes (DORA et al., 2022) 	<p>Desvantagens (HASSOUN et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Alto custo; — Complexidade.
<p>Internet das Coisas (IoT): A Internet das Coisas (IoT) engloba diferentes tecnologias que permitem conectar objetos físicos para que possam trocar dados dentro de uma rede. Os sensores são componentes centrais dos sistemas de IoT que coletam informações, que são processadas por software para mostrar resultados relevantes às partes interessadas (HASSOUN et al., 2023).</p>	
<p>Vantagens (HASSOUN et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Registro de dados em tempo real; — Pode ser usado em conjunto com outras tecnologias; — Boa capacidade de comunicação entre dispositivos (ASTILL et al., 2019a) 	<p>Desvantagens (HASSOUN et al., 2023)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Falta de conectividade em áreas rurais; — Segurança e privacidade dos dados; — Custo.
<p>Holograma: Um holograma é uma imagem tridimensional criada pela interferência de dois ou mais feixes de luz. Eles são usados para fornecer uma forma segura e confiável de identificar um produto ou lote. Além disso, são difíceis de falsificar, tornando-os ideais para prevenir fraudes alimentares (DANDAGE et al., 2017).</p>	
<p>Vantagens (HUSEIN et al., 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Etiquetas de segurança; — Autenticação e confiança do produto; — Proteção contra falsificações; 	<p>Desvantagens (HUSEIN et al., 2022)</p> <ul style="list-style-type: none"> — Utilidade muito limitada no negócio de embalagens de alimentos.

Comunicação de Campo Próximo (NFC): É considerada uma extensão ou subcategoria de RFID. Esta tecnologia possibilita interações seguras e simples de duas vias entre dispositivos eletrônicos (BADIA-MELIS et al., 2015). A principal diferença entre NFC e RFID está no fato de que NFC foi amplamente integrado em dispositivos móveis como smartphones, tablets e laptops (PIGINI; CONTI, 2017).	
Vantagens — Sem leitores ópticos(PIGINI; CONTI, 2017); — Etiquetas muito pequenas (BADIA-MELIS; MISHRA; RUIZ-GARCÍA, 2015);	Desvantagens (PIGINI; CONTI, 2017) — Conectividade de alcance limitado; — NFC sempre envolve um iniciador e um alvo.
Big Data (BD): A análise de Big Data foi descrita como uma tecnologia que pode fornecer "grande visibilidade" para as operações das cadeias de fornecimento. Pode ser usada na rastreabilidade de alimentos para coletar e analisar dados de várias fontes (ASTILL et al., 2019a; YU et al., 2022).	
Vantagens (ASTILL et al., 2019a) — Melhora cadeias de suprimentos e maior visibilidade; — Análise preditiva (KAFETZOPOULOS et al., 2020); — Melhor gestão de dados (KAFETZOPOULOS; STYLIOS; SKALKOS, 2020).	Desvantagens (HASSOUN et al., 2023) — Complexidade; — Custo.

Fonte: Autoria própria (2023)

A Tabela 5 detalha as características, vantagens e desvantagens de cada tecnologia, oferecendo uma visão geral de como elas influenciam na rastreabilidade de alimentos, revelando seu papel crucial no avanço e aperfeiçoamento da rastreabilidade. Essa variedade de oportunidades se deve ao fato de que algumas tecnologias emergiram como respostas diretas às limitações de outras, como por exemplo o desenvolvimento de códigos QR, concebidos para superar as restrições de informação apresentadas pelos códigos de barras (KUMPERŠČAK et al., 2019).

4. Conclusões

A rastreabilidade é uma ferramenta fundamental para a sustentabilidade ambiental e para a segurança alimentar. O objetivo deste estudo foi identificar essas tecnologias através de uma análise exaustiva de literatura pelo método Ordinatio, em combinação com uma análise bibliométrica e de conteúdo.

Os resultados evidenciam que existe um crescente interesse neste campo pela quantidade de artigos publicados nos últimos anos. Também se pôde evidenciar que os países com maior interesse nesta área são a Índia, a China, os Estados Unidos e o Reino Unido. Além disso, se evidenciou que a maioria desses estudos estavam centrados no setor agroalimentar ou de alimentos em geral. No entanto, é necessário ressaltar que alguns artigos não especificaram o subsetor ou o local do estudo, o que se torna uma limitação para este trabalho.

A análise de conteúdo do portfólio revelou que existem diversas tecnologias com diferentes vantagens e desvantagens que influenciam de maneira significativa na rastreabilidade dos alimentos. Estas incluem tecnologias tradicionais como o uso do código de barras ou o RFID para a identificação e rastreamento de produtos. Além disso, o código de barras genético, a análise isotópica e os hologramas revolucionaram a capacidade de validar a autenticidade dos produtos alimentares. Por outro lado, se destacaram tecnologias novas como o *blockchain*, as embalagens inteligentes e a nanotecnologia, as quais promovem uma maior transparência e segurança em toda a cadeia. Por tanto, tecnologias como o IoT, Big Data e a inteligência artificial têm possibilitado a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, o que tem conduzido a uma gestão mais proativa da cadeia de suprimento.

Essas tecnologias apresentam oportunidades para otimizar a eficiência e a segurança na cadeia de suprimento de alimentos ao reduzir o desperdício e promover a segurança dos alimentos. Para futuras pesquisas, se sugere explorar a viabilidade de combinar essas tecnologias para alcançar o melhor desempenho custo-benefício em distintos setores alimentares. Além disso, se recomenda investigar os efeitos da rastreabilidade na sustentabilidade da cadeia de suprimento, considerando seu potencial para reduzir o desperdício de alimentos e reduzir as emissões de carbono. Ao priorizar essas áreas de pesquisa, se poderá promover um enfoque mais holístico e sustentável para a rastreabilidade na cadeia de suprimento alimentar.

Agradecimentos

Este artigo foi desenvolvido com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001.

Referências

- ALDRIGHETTI, A. et al. A Delphi Study on Blockchain Application to Food Traceability. **International Journal on Food System Dynamics**, v. 12, n. 1, p. 6–18, 2021.
- ASTILL, J. et al. Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 240–247, 2019a.
- AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. **Food Control**, v. 39, n. 1, p. 172–184, 2014.
- BADIA-MELIS, R.; MISHRA, P.; RUIZ-GARCÍA, L. Food traceability: New trends and recent advances. A review. **Food Control**, v. 57, p. 393–401, 2015.
- 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, 2022.
- BOLLEN, A. et al. Traceability in postharvest quality management. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**, v. 1, n. 1, p. 93–105, 2006.
- BOSONA, T.; GEBRESENBET, G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural . **Food Control**, v. 33, n.1, p. 32–48, 2013.
- COLLART, A. J.; CANALES, E. How might broad adoption of blockchain-based traceability impact the US fresh produce supply chain? **APPLIED ECONOMIC PERSPECTIVES AND POLICY**, v. 44, n. 1, p. 219–236, 2022.
- CORALLO, A. et al. A systematic literature review to explore traceability and lifecycle relationship. **International Journal of Production** , v. 58, n. 15, p. 4789–4807, 2020.
- COSTA, C. et al. A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 353–366, 2013.
- DANDAGE, K. et al. Indian perspective in food traceability: A review. **Food Control**, v. 71, p. 217–227, 2017.
- DONG, L.; JIANG, P. (PHIL); XU, F. Impact of Traceability Technology Adoption in Food Supply Chain Networks. **Management Science**, v. 69, n. 3, p. 1518–1535, mar. 2023.
- DORA, M. et al. Critical success factors influencing artificial intelligence adoption in food supply chains. **International Journal of Production**, v. 60, n.14, p.4621–4640, 2022.
- FENG, H. et al. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121031, 2020.
- GANESON, K. et al. Smart packaging – A pragmatic solution to approach sustainable food waste management. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 36, 2023.
- GLEW, R.; PEREZ HERNANDEZ, M.; MCFARLANE, D. **Analysing the Effect of Food Supply Chain Traceability on Product Waste**. Proceedings of SW21 The OR Society Simulation Workshop. **Anais...Operational Research Society**, 22 mar. 2021.
- GUPTA, N. et al. Evaluating Traceability Technology Adoption in Food Supply Chain: A Game Theoretic Approach. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 898, 4 jan. 2023a.
- GUPTA, S. et al. A Delphi fuzzy analytic hierarchy process framework for criteria classification and prioritization in food supply chains under uncertainty. **Decision Analytics Journal**, v. 7, 2023b.
- HASSOUN, A. et al. Implementation of relevant fourth industrial revolution innovations across the supply chain of fruits and vegetables. **Food Chemistry**, v. 409, 2023.
- HUSEIN, H. et al. Food Traceability: New Directions and Current Advances. **ProEnvironment**, n. October, 2022.

- JAKKHUPAN, W.; ARCH-INT, S.; LI, Y. An RFID-based traceability system: A case study of rice supply chain. **Telecommunication Systems**, v. 58, n. 3, p. 243–258, 2015.
- KAFETZOPOULOS, D. et al. **Managing traceability in the meat processing industry: Principles, guidelines and technologies**. Ed. 9th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment, HAICTA 2020.
- KHANNA, A. et al. Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry: Safety and Traceability. **Foods**, v. 11, n. 17, 2022.
- KUMPERŠČAK, S. et al. Traceability Systems and Technologies for Better Food Supply Chain Management. **Quality Production Improvement - QPI**, v. 1, n. 1, p. 567–574, 2019.
- MATTEVI, M.; JONES, J. A. Food supply chain: Are UK SMEs aware of concept, drivers, benefits and barriers, and frameworks of traceability? **British Food Journal**, v. 118, n. 5, p. 1107–1128, 2016.
- MCMILLIN, K. W.; LAMPILA, L. E.; MARCY, J. A. Traceability in the meat, poultry and seafood industries. In: **Advances in Meat, Poultry and Seafood Packaging**. Department of Food Science, School of Animal Sciences, Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, LA 70803-4210, United States: Elsevier Ltd., 2012. p. 565–595.
- NEETHIRAJAN, S.; JAYAS, D. S. Nanotechnology for the Food and Bioprocessing Industries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 1, p. 39–47, 19 jan. 2011.
- OPARA, L. U.; MAZAUD, F. Food Traceability from Field to Plate. **Outlook on Agriculture**, v. 30, n. 4, p. 239–247, 15 dez. 2001.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.
- PIGINI, D.; CONTI, M. NFC-Based Traceability in the Food Chain. **Sustainability (Basel, Switzerland)**, v. 9, n. 10, p. 1910, 2017.
- QIAN, J.-P. et al. A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 89, p. 76–85, 2012.
- QIAN, J. et al. Traceability in food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 679–692, 2022.
- RAHMAN, L. F. et al. Traceability of Sustainability and Safety in Fishery Supply Chain Management Systems Using Radio Frequency Identification Technology. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2265, 24 set. 2021.
- RAO, E. S.; SHUKLA, S.; RIZWANA. Food traceability system in India. **Measurement: Food**, v. 5, n. July 2021, p. 100019, 2022.
- RIAÑO, L. et al. **Design of an architecture for the evaluation of traceability in the supply chain of fresh produce**. IEOM Bogota Conference / 1st South American Congress 2017.
- RINCÓN BALLESTEROS, D. L. et al. Hacia un Marco Conceptual Común sobre Trazabilidad en la Cadena de Suministro de Alimentos. **Ingeniería**, v. 22, n. 2, p. 161, 2017.
- SMITH, G. C. et al. Traceability from a US perspective. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 174–193, set. 2005.
- TAN, A.; NGAN, P. T. A proposed framework model for dairy supply chain traceability. **Sustainable Futures**, v. 2, p. 100034, 2020.
- VALENTINI, P. et al. DNA Barcoding Meets Nanotechnology. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 56, n. 28, p. 8094–8098, 3 jul. 2017.
- YU, Z. et al. Smart traceability for food safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 4, p. 905–916, 2022.