



## INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO CAMPO: MAPEAMENTO E TENDÊNCIAS FUTURAS DA LITERATURA CIENTÍFICA

Bruno Gomes de Carvalho<sup>1</sup> Juliana Resende Paviani<sup>2</sup> Anne Irene Cunha Vaz<sup>3</sup>  
 Cleber Carvalho de Castro<sup>4</sup> Paulo Henrique Montagnana Vicente Leme<sup>5</sup>

### Resumo

**Objetivo:** As Agtechs são startups focadas em desenvolver soluções tecnológicas para o agronegócio. Devido à sua relevância na literatura, este trabalho tem como objetivo mapear a produção científica e apontar as tendências de estudos futuros sobre as Agtechs, buscando identificar o panorama de contribuição na produção de tecnologias sustentáveis.

**Metodologia/abordagem:** Este estudo empregou uma revisão sistemática da literatura, utilizando métodos bibliométricos e de análise de conteúdo para analisar o estado da pesquisa sobre Agtechs.

**Originalidade/Relevância:** Este estudo fornece importantes informações para pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas públicas. A análise identificou que a temática está em plena ascensão. Além disso, permitiu mapear as publicações existentes na área e a evolução do campo científico, bem como identificar temas emergentes e apresentar as principais tendências de estudos futuros deste campo de pesquisa.

**Principais resultados:** Os resultados indicam a importância do tema e sua crescente popularidade na pesquisa científica. Além disso, a análise identificou novos fluxos de pesquisa que merecem maior exploração pela comunidade científica: Radar tecnológico agrícola; Sustentabilidade; Consequências da agricultura 4.0; Desenvolvimento rural e, Arranjo organizacional das Agtechs.

**Contribuições teóricas/metodológicas:** O estudo das Agtechs tem implicações significativas para perspectivas teóricas relacionadas com a inovação tecnológica. Consequentemente, uma melhor compreensão do crescente interesse na temática entre os estudiosos é necessária para alavancar suas implicações e possibilidades.

**Contribuições sociais/gerenciais:** A análise indica que as Agtechs são fundamentais para nortear a revolução agrícola em direção ao crescimento sustentável global, sendo consideradas essenciais para otimizar toda a produção de alimentos de forma sustentável.

**Palavras-chave:** Agtech. Desenvolvimento sustentável. Inovação. Tecnologia. Sustentabilidade. Práticas Agrícola.

### Cite as / Como citar

American Psychological Association (APA)

Carvalho, B. G., Paviani, J. R., Vaz, A. I. C., Castro, C. C., & Leme, P. H. M. V. (Edição Especial, 2023). Inovações tecnológicas no campo: mapeamento e tendências futuras da literatura científica. *Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSM)*, 22(2), 1-34, e24901. <https://doi.org/10.5585/2023.24901>

(ABNT – NBR 6023/2018)

CARVALHO, B. G.; PAVIANI, J. R.; VAZ, A. I. C.; CASTRO, C. C.; LEME, P. H. M. V. Inovações tecnológicas no campo: mapeamento e tendências futuras da literatura científica. *Iberoamerican Journal of Strategic Management (IJSM)*, v. 22, n. 2, Ed. Esp., p. 1-34, e24901, 2023. <https://doi.org/10.5585/2023.24901>

<sup>1</sup> Mestre em Administração Pública. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, Minas Gerais – Brasil. [bruno.carvalho@ufla.br](mailto:bruno.carvalho@ufla.br)

<sup>2</sup> Mestranda em Administração. Pós-Graduação em Gestão Pública. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, Minas Gerais – Brasil. [juliana.paviani@ufla.br](mailto:juliana.paviani@ufla.br)

<sup>3</sup> Mestranda em Administração. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, Minas Gerais – Brasil. [anne.vaz@estudante.ufla.br](mailto:anne.vaz@estudante.ufla.br)

<sup>4</sup> Doutor em Agronegócios. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, Minas Gerais – Brasil. [clebercastro@ufla.br](mailto:clebercastro@ufla.br)

<sup>5</sup> Doutor em Administração. Universidade Federal de Lavras – UFLA. Lavras, Minas Gerais – Brasil. [paulo.leme@ufla.br](mailto:paulo.leme@ufla.br)



## TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN AGRICULTURE: MAPPING AND FUTURE TRENDS IN SCIENTIFIC LITERATURE

### Abstract

**Objective:** Agtechs are startups focused on developing technological solutions for agribusiness. Due to its relevance in the literature, this work aims to map scientific production and point out the trends of future studies on Agtechs, seeking to identify the panorama of contribution to the production of sustainable technologies.

**Methodology/approach:** This study employed a systematic review of the literature, using bibliometric methods and content analysis methods to analyze the state of Agtech research.

**Originality/relevance:** This study provides important information for researchers, practitioners, and policymakers. The analysis identified that the subject is in full ascension. In addition, it made it possible to map the existing publications in the area and the evolution of the scientific field, as well as to identify emerging themes and present the main trends for future studies in this field of research.

**Main results:** The results indicate the importance of the topic and its growing popularity in scientific research. In addition, the analysis identified new research streams that deserve further exploration by the scientific community: Agricultural technological radar; Sustainability; Consequences of agriculture 4.0; Rural Development and Organizational arrangement of Agtechs.

**Theoretical/methodological contributions:** The study of Agtechs has significant implications for theoretical perspectives related to technological innovation. Consequently, a better understanding of the growing interest in the topic among scholars is needed to leverage its implications and possibilities.

**Social/managerial contributions:** The analysis indicates that Agtechs are key to guiding the agricultural revolution towards global sustainable growth, being considered essential to optimize all food production in a sustainable way.

**Keywords:** Agtech. Sustainable development. Innovation. Technology. Sustainability. Agricultural practices.

## INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN EL CAMPO: MAPEO Y TENDENCIAS FUTURAS EN LA LITERATURA CIENTÍFICA

### Resumen

**Objetivo:** Las Agtechs son startups enfocadas en el desarrollo de soluciones tecnológicas para la agroindustria. Debido a su relevancia en la literatura, este trabajo tiene como objetivo mapear la producción científica y señalar las tendencias de futuros estudios sobre Agtechs, buscando identificar el panorama de contribución a la producción de tecnologías sostenibles.

**Metodología/enfoque:** Este estudio empleó una revisión sistemática de la literatura, utilizando métodos bibliométricos y de análisis de contenido para analizar el estado de la investigación Agtech.

**Resultados principales:** Los resultados indican la importancia del tema y su creciente popularidad en la investigación científica. Además, el análisis identificó nuevas líneas de investigación que merecen ser exploradas por la comunidad científica: el radar tecnológico agrícola; Sostenibilidad; Consecuencias de la agricultura 4.0; Desarrollo Rural y Ordenamiento Organizacional de Agtechs.

**Aportes teóricos/metodológicos:** El estudio de las Agtechs tiene implicaciones significativas para las perspectivas teóricas relacionadas con la innovación tecnológica. En consecuencia, se necesita una mejor comprensión del creciente interés en el tema entre los académicos para aprovechar sus implicaciones y posibilidades.

**Aportes sociales/gerenciales:** El análisis indica que las Agtech son clave para guiar la revolución agrícola hacia un crecimiento sostenible global, siendo consideradas esenciales para optimizar toda la producción de alimentos de manera sostenible.

**Palabras clave:** Agtech. Desarrollo sostenible. Innovación. Tecnología. Sostenibilidad. Prácticas Agrícolas.

## 1 Introdução

A agricultura desempenha um papel crucial no Brasil e no mundo, sendo essencial para a segurança alimentar, economia e geração de empregos. No Brasil, é um pilar da economia, contribuindo significativamente para o PIB e gerando empregos em larga escala, principalmente em áreas rurais. O país destaca-se como um dos principais produtores e exportadores globais de commodities agrícolas. Globalmente, a agricultura é vital para a segurança alimentar, a economia mundial e a subsistência de milhões de pessoas (Vieira Filho & Fishlow, 2017; Quintam & de Assunção, 2023).

Exercendo uma influência significativa em seus resultados econômicos, é essencial que o agronegócio, para manter uma contribuição expressiva, prossiga com uma modernização constante, incorporando ativamente os inúmeros avanços tecnológicos que têm emergido nas últimas décadas. Entre as tecnologias mais recentes que têm impactado significativamente esse setor, destacam-se a indústria 4.0 (Dayioglu & Turker, 2021), a internet das coisas (Mahmud, Ramamohanarao & Buyya, 2020; Farooq, Riaz, Abid, Umer, & Zikri, 2020), as nanotecnologias (Xu, Phillips, Alarcon, & Kumar, 2021), e a automação e inteligência artificial (Kakani et al., 2020). Diante desse cenário, diversas iniciativas têm emergido para impulsionar e integrar as inovações tecnológicas ao agronegócio, incluindo o surgimento de startups nos últimos anos.

Uma startup é um empreendimento de base tecnológica, repetível e escalável, cujo crescimento é de difícil mensuração (Ries, 2012). Essas organizações, nascentes ou em operação recente, destacam-se pela inovação em modelos de negócios, produtos ou serviços. No cenário das startups, as Agritechs (ou Agtechs) emergem com propostas disruptivas para impulsionar a evolução tecnológica no setor agrícola. Conforme Dutia (2014), Agritechs são startups dedicadas ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas sustentáveis, promovendo aumento de produtividade, eficiência e mitigação de impactos ambientais. Assim, as Agtechs desempenham um papel essencial na condução da revolução agrícola necessária para o crescimento sustentável global.

A investigação futura percorre cinco áreas cruciais: Radar tecnológico agrícola (Atik, 2022), Sustentabilidade (Frare & Beuren, 2021), Consequências da agricultura 4.0 (Barrett & Rose, 2022), Desenvolvimento rural (Espig et al., 2022), e Arranjo organizacional das Agtechs (Bertucci Ramos & Pedroso, 2022). Esses domínios englobam a avaliação de tecnologias, a implementação de práticas sustentáveis, a análise dos impactos da agricultura 4.0, a exploração sociológica do desenvolvimento rural e a investigação das relações organizacionais das

Agtechs. Ao abordar essas categorias, busca-se uma compreensão holística das dinâmicas do agronegócio diante das inovações tecnológicas e sustentáveis, alinhando-se aos objetivos da Agenda de 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Sendo assim, este estudo se justifica pelos seguintes fatores: (I) Econômico: Em termos globais, o agronegócio tem grande impacto no PIB de países como China, Estados Unidos, Brasil e Índia (Sesso Filho, Borges, Pompermayer Sesso, Brene & Esteves, 2021). (II) Social: O agronegócio é responsável pela oferta global de alimentos. Para que a produção de alimentos seja sustentável e garanta a segurança alimentar, estima-se que deveremos produzir mais alimentos nos próximos quarenta anos do que durante todo o curso da história humana (Dutia, 2014). Para que isso seja possível, as Agritechs são essenciais para otimizar toda a produção de alimentos de forma sustentável. (III) Ambiental: O desenvolvimento sustentável é crucial para um planeta que possui atualmente mais de oito bilhões de pessoas. Temos que diminuir os impactos negativos ao meio ambiente. As inovações das Agritechs são essenciais para essa questão, porque ao mesmo tempo em que aumentam a produtividade do sistema agrícola, elas também reduzem custos ambientais.

Portanto, é evidente que o agronegócio desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de diversas nações, exercendo um impacto significativo em seus indicadores econômicos. Para manter essa influência positiva, é importante que o setor de agricultura busque uma modernização contínua, aproveitando os avanços tecnológicos que têm emergido nas últimas décadas (Vieira Filho & Fishlow, 2017; Quintam & de Assunção, 2023). Sendo assim, o objetivo da pesquisa é mapear a produção científica e apontar as tendências de estudos futuros sobre as Agtechs, buscando identificar o panorama de contribuição das agritechs na produção de tecnologias sustentáveis. Por esse motivo o estudo busca responder a seguinte problemática: Qual o panorama da contribuição científica das Agtechs na produção de tecnologias para a sustentabilidade?

## **2 Referencial Teórico**

### *2.1 Desenvolvimento Sustentável na Agricultura*

A agricultura é considerada o pilar da segurança alimentar, tendo um papel cada vez mais significativo para a continuação da vida e para o desenvolvimento socioeconômico de um país (Dayioglu & Turker, 2021). Por esse motivo, nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo na demanda por alimentos, tanto em termos de qualidade quanto de quantidade, gerando assim a necessidade premente de intensificação nas práticas agrícolas

(Farooq et al., 2020). Este cenário reflete a crescente pressão para atender às demandas alimentares da população global em constante crescimento, destacando a importância de inovações e avanços no setor agrícola para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade a longo prazo (Farooq et al., 2020). Sendo assim, os sistemas de produção agrícola são projetados para promover a sustentabilidade do ecossistema, ao mesmo tempo em que atendem às necessidades humanas (Dayioglu & Turker, 2021).

Esses sistemas não apenas procuram melhorar a eficiência da produção e promover o emprego, mas também buscam valorizar os sistemas alimentares, preservar e otimizar os recursos naturais, elevar os padrões de subsistência e impulsionar o crescimento econômico. Nesse contexto, a abordagem adotada, conforme destacado por Dayioglu & Turker (2021), não só reforça a resiliência de indivíduos, comunidades e ecossistemas, mas também se alinha a um equilíbrio sustentável. Para garantir sua sustentabilidade, são necessários mecanismos que incentivem a oferta de serviços sustentáveis. As políticas agrícolas, ambientais e econômicas influenciam decisivamente a atividade do produtor rural, afetando as estratégias no campo (Costa & Costa, 2022).

As estratégias no campo direcionadas às análises dos serviços ambientais são fundamentais, pois viabiliza a compreensão dos procedimentos, leis e vantagens financeiras e de oportunidade direcionadas aos agricultores. Tornando importante avaliar constantemente a viabilidade efetiva de uma produção agrícola alinhada com os princípios do desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, torna-se crucial garantir uma compreensão abrangente e assegurar que a implementação prática favoreça a sustentabilidade na agricultura (Costa & Costa, 2022). No âmbito agrícola, a adesão a princípios é essencial para elevar tanto a produtividade quanto a sustentabilidade (Dayioglu & Turker, 2021).

Estes princípios englobam orientações destinadas a aprimorar a eficiência produtiva, promovendo práticas responsáveis no uso de recursos naturais, minimizando impactos ambientais e adotando métodos de produção eficazes. Além disso, fomentam a implementação de práticas benéficas tanto para a comunidade agrícola quanto para o ecossistema como um todo (Dayioglu & Turker, 2021). Dessa forma, compreende-se que o desenvolvimento sustentável requer atenção às necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de suprirem suas próprias demandas. Uma comunidade sustentável é concebida para garantir que seus estilos de vida, atividades comerciais, economia, estruturas fiscais e tecnologias não prejudiquem a capacidade da natureza de sustentar a vida (Costa & Costa, 2022).

## 2.2 Tecnologias no Campo

O campo está em constante evolução e buscando por novas tecnologias na área agrícola (Spanaki et al., 2022). Por esse motivo, com o potencial de permitir a produção sustentável de alimentos, o campo agrícola conta com o auxílio de tecnologias e nanotecnologia (Xu et al., 2021). A nanotecnologia, em razão das nanopartículas (NPs), desempenha papel importante nas práticas agrícolas. As NPs se mostram agentes eficientes na fase de preparo de sementes, nos transportadores de agroquímicos, de fertilizantes diretos, fungicidas e pesticidas. As NPs (nanopartículas) assumem um papel crucial nas condições de saúde do solo e plantas. Contudo, mesmo com sua importância, não são amplamente adotadas nos atuais processos de produção em larga escala de alimentos. A eficácia das NPs ainda suscita preocupações, especialmente no que diz respeito à biossegurança e aos impactos ambientais (Xu et al., 2021).

Em contrapartida, o avanço contínuo em tecnologia e hardware está promovendo a expansão dos sistemas ciber-físicos (CPSs) para ambientes inteligentes, incluindo localizadores internos e robôs assistidos dentro dos campos (Mahmud et al., 2020). Essas tecnologias representam uma oportunidade significativa para aprimorar os processos agrícolas e aumentar a eficiência no setor agrícola (Babenko et al., 2022). Mahmud et al., (2020) buscam estudar sobre sistemas ciberfísicos habilitados para a internet das coisas, que está associado a Agtech. A internet das coisas (IoT) lida com um grande volume de dados e exigem serviços de processamento de diferentes aplicativos em tempo real (Mahmud, et al., 2020). Dessa forma, a IoT está sendo adotada para a criação de ambientes inteligentes em diversos domínios. É considerada uma tecnologia promissora que oferece soluções inovadoras para modernizar o setor agrícola. Portanto, o principal benefício dessa inovação é a capacidade de produzir e consumir serviços em tempo real (Mahmud et al., 2020).

A implantação da IoT na agricultura é considerada a solução ideal, pois nesta área existe a necessidade de monitoramento e controle contínuos. A internet das coisas (IoT) fornece benefícios por meio de suas tecnologias inovadoras e oferece uma maneira de aprimorar a percepção e a capacidade do usuário, modificando o ambiente de trabalho (Farooq et al., 2020). A agricultura também busca startups que usem a tecnologia da informação para abordar o equilíbrio da eficiência econômica, ambiental e social para aumentar a produtividade dentro do campo (Babenko et al., 2022). Dessa forma, surge o termo AgriTech, que significa uma perspectiva voltada para a solução. O contexto da tecnologia agrícola (AgriTech) está relacionada com aplicações de inteligência artificial e também a uma linha de técnicas analíticas baseadas em dados (Babenko et al., 2022).

### 2.3 AgriTech / Agtechs

AgriTech orientado por inteligência artificial é considerado relevante para as operações agrícolas para uma agricultura inteligente, eficiente e sustentável. Ao incorporar tecnologias na agricultura, utilizam-se sensores, dispositivos móveis, redes de comunicação, drones, robótica e inteligência artificial para aprimorar a gestão no campo. Essas tecnologias representam uma oportunidade significativa para impulsionar os processos de negócios na agricultura e aumentar sua eficiência (Babenko et al., 2022). No entanto, não começou dessa forma, segundo Dayioglu & Turker, (2021) o campo da agricultura passou por uma gradativa evolução, ocorrendo desde o nível primitivo ao nível avançado, acontecendo de maneira gradual. Sendo assim, a agricultura 1.0 é considerada a agricultura convencional praticada na antiguidade, quando os produtores usavam ferramentas manuais domésticas para o cultivo baseado em mão de obra e força animal (Dayioglu & Turker, 2021).

A agricultura 2.0 se refere ao período que ocorreu o aumento da produção de alimentos e redução do trabalho manual, onde os maquinários agrícolas eram usados para preparar o solo, semear, capinar, regar e colher. Dessa forma, aumentou significativamente a eficiência e a produtividade do campo. A Agricultura 3.0 surgiu em razão dos avanços realizados na informática e na eletrônica. Nessa era, os desenvolvimentos proporcionaram economia de energia no uso de maquinário e economia de água na irrigação e redução no uso de produtos químicos no campo (Dayioglu & Turker, 2021). Na agricultura 4.0, nota-se uma transformação digital no setor agrícola, onde o impacto das tecnologias é significativo (Dayioglu & Turker, 2021). Nessa era, percebe-se que a agricultura pode colher benefícios substanciais da tecnologia, principalmente por meio de soluções de software (Babenko et al., 2022).

As inovações adotadas na agricultura, incluindo sensores, dispositivos móveis, redes de comunicação, drones, robótica e inteligência artificial, promovem uma mudança significativa nas práticas agrícolas, elevando a eficiência, precisão e sustentabilidade (Babenko et al., 2022). Nesse contexto tecnológico, o campo da Tecnologia Agrícola (AgriTech/Agtechs) tem sido objeto de crescente interesse e pesquisa entre praticantes e estudiosos. A integração cada vez mais profunda da tecnologia nas práticas agrícolas e a rápida evolução da AgriTech impulsionam estudos aprofundados nesse domínio (Spanaki et al., 2022). Diante desse cenário, reconhece-se que a agricultura demanda estratégias de gestão que integrem, processem e analisem dados temporais, espaciais e individuais. Essas estratégias, quando combinadas com outras informações, orientam decisões específicas de gestão, visando aprimorar a eficiência de

recursos, produtividade, qualidade, lucratividade e sustentabilidade da produção agrícola (Dayioglu & Turker, 2021).

### 3 Metodologia

Para a condução das análises, este estudo empregou uma revisão sistemática da literatura, combinando análise bibliométrica e de conteúdo para mapear e analisar o estado da pesquisa sobre Agtechs. Segundo Donthu (2021), a análise bibliométrica é um método que visa averiguar, com rigor, vastos volumes de dados científicos, possibilitando concomitantemente um mapeamento de determinado campo ou tema científico e um direcionamento acerca dos principais tópicos em ascensão. Prado et al. (2016) explicam que neste tipo de pesquisa podem ocorrer limitações, como delimitação de termos, erro de coleta de dados e visão geral do campo. Assim, para reduzir o viés, os autores desenvolveram um referencial de pesquisa, que utilizamos como modelo de método sistemático (Quadro 1). Além disso, conforme defendido por Iddy e Alon (2019), utilizamos softwares para análise dos dados bibliométricos, o que é considerado crucial para mitigar vieses durante a seleção, análise e avaliação dos artigos.

Dessa forma, a combinação da análise bibliométrica com a análise de conteúdo permite a análise e identificação de tendências emergentes e lacunas de pesquisa no campo de estudo (Gomes et al., 2018), possibilitando ao pesquisador colocar em evidência as informações obtidas, propor inferências e realizar interpretações, tendo em vista o referencial teórico ou, ainda, identificar novas pistas em decorrência das dimensões teóricas que poderão emergir a partir da leitura do material (Minayo, 2000).

## Quadro 1

Framework de pesquisa proposto para os artigos de revisão

	Etapa	Procedimento	Descrição
1	<b>Operacionalização da pesquisa</b>	<b>1.1</b>	Delimitar o objetivo do trabalho
		<b>1.2</b>	Escolha da base científica ou periódico
		<b>1.3</b>	Delimitação dos termos que representam o campo
2	<b>Procedimentos de busca (filtros)</b>	<b>2.1</b>	Definir os termos de busca para localizar as referências
		<b>2.2</b>	Definir os operadores booleanos para uma pesquisa avançada
		<b>2.3</b>	Definir outros filtros de busca para refinamento
3	<b>Procedimentos de seleção (Banco de dados)</b>	<b>3.1</b>	Download das referências - <i>software EndNote</i>
		<b>3.2</b>	Download das referências em formato de planilha eletrônica
		<b>3.3</b>	Download das referências para utilização nos Softwares: <i>CiteSpace, Bibliometrix e VOSviewer</i>
		<b>3.4</b>	Organização das referências no <i>EndNote</i>
		<b>3.5</b>	Organização das matrizes de análise em planilha eletrônica
		<b>3.6</b>	Importação dos dados para softwares de análise ( <i>CiteSpace, Bibliometrix e VOSviewer</i> )
4	<b>Análise da Frente de Pesquisa (Research front)</b>	<b>4.1</b>	Análise do volume das publicações e tendências temporais
		<b>4.2</b>	Análise dos artigos mais citados
		<b>4.3</b>	Análise dos países nos quais os pesquisadores mais publicaram
		<b>4.4</b>	Análise dos periódicos que mais publicaram
		<b>4.5</b>	Análise das palavras-chave e <i>Citation Bursts</i>
		<b>4.6</b>	Análise dos termos ascensão
5	<b>Análise da Base Intelectual (Intellectual base)</b>	<b>5.1</b>	Análise da rede de cocitações dos artigos mais citados e <i>Citation Bursts</i>
		<b>5.2</b>	Análise da rede de cocitações dos autores mais citados
6	<b>Agenda de Estudos Futuros</b>	<b>6.1</b>	Leitura dos artigos publicados em 2022
		<b>6.2</b>	Síntese das principais sugestões de lacunas de pesquisa
		<b>6.3</b>	Apresentação e discussão dos principais temas que compõem a agenda de estudos futuros

Fonte: Adaptado de (Prado et al., 2016).

Primeiro, foi realizada uma análise preliminar sobre o tema, que revelou crescente interesse pela academia e pelo mercado, bem como lacunas de pesquisa e a necessidade de avanços. O Quadro 1 descreve o método sistemático utilizado, composto por seis macro estágios (etapas), bem como os procedimentos realizados em cada uma das etapas, as quais estão descritas a seguir.

Inicialmente, para a operacionalização da pesquisa (etapa 1), delimitamos como objetivo do trabalho (procedimento 1.1) o mapeamento do estado de pesquisa sobre as Agtechs, além de sua evolução e tendências futuras. Os dados foram coletados na base científica da *Scopus* via *Elsevier* (procedimento 1.2), que é considerada uma das principais fontes de dados de citações de trabalhos acadêmicos e amplamente utilizada em estudos bibliométricos. Segundo Prankute (2021), mesmo com o aumento de outras bases de dados, a *Scopus* é considerada uma das principais fontes de metadados de publicações e indicadores de impacto. Além disso, a *Scopus* disponibiliza a maior base de dados bibliométricos e contém metadados

que podem ser extraídos e exportados para a realização da análise bibliométrica (Filser et al., 2017).

Para realizar uma revisão abrangente da literatura, os termos que representam o campo (procedimento 1.3) foram definidos por Agtech, desenvolvimento sustentável e inovação. Na sequência, os procedimentos de busca (etapa 2) foram definidos. O protocolo de pesquisa com os termos (procedimento 2.1) e operadores booleanos (procedimento 2.2) utilizados no procedimento de busca está descrito no Quadro 2 e o escopo foi delimitado para localizar as referências no título, no resumo e nas palavras-chave. As buscas, nas bases de dados, foram filtradas apenas por tipo de documento revisado por pares: artigos e revisões (procedimento 2.3). Conforme observado por (Filser et al., 2017), os documentos revisados por pares são fontes primárias para novos resultados de pesquisa; devido ao seu processo de revisão cega, eles garantem a utilidade e a confiabilidade das revisões de literatura.

A pesquisa foi realizada em 04 de novembro de 2022, sem restrição para período, área de conhecimento e idioma, uma vez que o objetivo da pesquisa foi apresentar uma visão geral sobre o tema e identificar a trajetória da pesquisa neste campo de estudo. Assim, após o refinamento dos dados, 637 documentos foram selecionados para tratamento dos dados.

## Quadro 2

*String de busca utilizada para a análise bibliométrica*

Base de dados	Termos de busca/filtros	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY (agritech) or (agri-tech) or (agtech) or (agricultural_startup) or (ag-focused_startup) AND TITLE-ABS-KEY (cleaner_production) or (sustainability-oriented) or (sustainab*) or (ecology) AND ( EXCLUDE ( DOCTYPE,"ch" ) OR EXCLUDE ( DOCTYPE,"cp" ) OR EXCLUDE ( DOCTYPE,"bk" ) OR EXCLUDE ( DOCTYPE,"cr" ) OR EXCLUDE ( DOCTYPE,"no" ) )	637

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Após a realização das buscas, os metadados dos documentos foram selecionados e importados (etapa 3). Primeiro, foi realizado o *download* dos metadados para o gerenciador de referências EndNote (procedimento 3.1), em formato de planilha eletrônica (procedimento 3.2) e para os softwares bibliométricos (procedimento 3.3). Em um segundo momento, as referências foram organizadas no EndNote (procedimento 3.4) e as matrizes, para análises em planilha eletrônica, foram organizadas e tabuladas (procedimento 3.5). Por fim, os dados foram

importados para os softwares de análise bibliométrica: *CiteSpace* (Chen, 2004, 2006) e *Bibliometrix* (Aria & Cuccurullo, 2017) e *VOSviewer* (EcK & Waltman, 2014) (procedimento 3.6).

Para a realização da análise da frente de pesquisa (etapa 4) e da base intelectual (etapa 5), os dados foram gerenciados e desenvolvidos pelos softwares *EndNote*, *Microsoft Excel*, *CiteSpace* (Chen, 2004, 2006), *Bibliometrix* (Aria & Cuccurullo, 2017) e *VOSviewer* (EcK & Waltman, 2014). Além da análise por meio dos softwares, foram gerados tabelas e gráficos para demonstrar os resultados do estudo.

A Análise da Frente de Pesquisa (etapa 4) teve como objetivo analisar a literatura existente sobre o tema em função de suas contribuições para o campo de pesquisa. Esta análise permite identificar o estado da arte, bem como detectar e analisar tendências e mudanças relacionadas a uma frente de pesquisa ao longo do tempo (Chen, 2006). Para identificar a Base Intelectual (etapa 5) foram realizadas análises das redes de citações da amostra. Chen (2006) define que a base intelectual de uma frente de pesquisa corresponde aos seus caminhos de citação na literatura científica. Dessa forma, o que é citado pela frente de pesquisa compõe a sua base intelectual.

Por fim, a Agenda de Estudos Futuros foi apresentada (etapa 6). Para identificar as tendências para futuras pesquisas, os artigos da amostra, publicados em 2022, foram analisados e as lacunas de estudos apontados pelos autores, sintetizados. Optamos por limitar a análise aos artigos publicados em 2022, visto que a maioria das propostas para estudos futuros podem não ter sido desenvolvidas até o momento da análise. A amostra final, para a análise de conteúdo, foi composta por 38 artigos, que subsidiaram a construção de uma tabela com as categorias resultantes das principais indicações de tendências de estudos futuros.

## Resultados da Análise Bibliométrica e Discussão

Esta seção tem como objetivo descrever os resultados obtidos a partir das análises da Frente de Pesquisa (etapa 4) e da base intelectual (etapa 5).

## 4 Análise da Frente de Pesquisa (Research front)

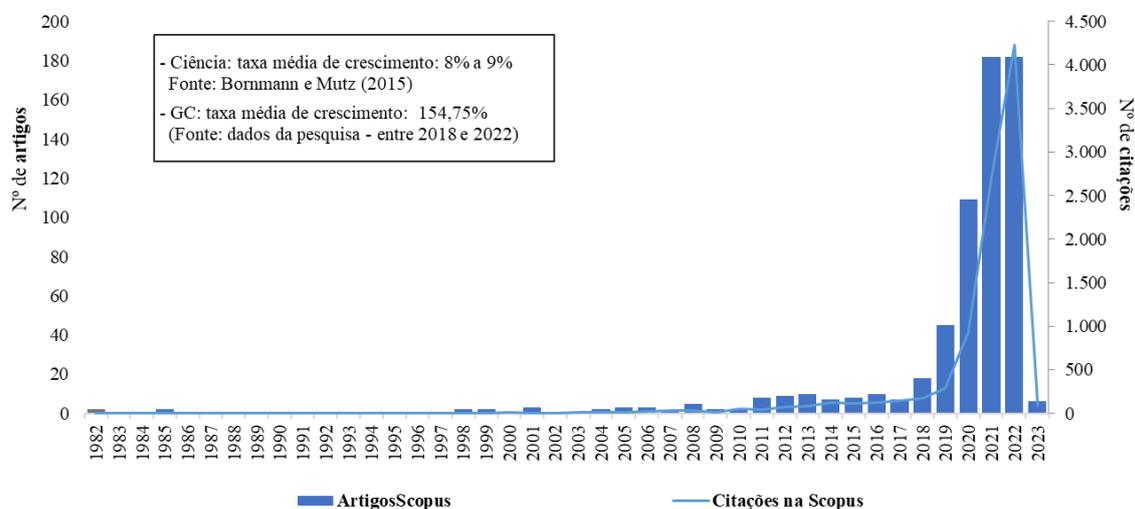
### 4.1 Análise do volume de publicações e tendências temporais

A Figura 1 apresenta a distribuição das 637 publicações da amostra, sobre Agtechs ao longo dos anos, bem como o número de citações recebidas na base de dados da Scopus. O período de análise não foi delimitado, tendo em vista a proposta do artigo, qual seja, mapear o panorama da contribuição científica e identificar as tendências para estudos futuros sobre o campo de pesquisa.

As discussões iniciais da temática, considerando a amostra de dados, iniciaram-se em 1982, com um volume de publicações bastante reduzido. Observa-se que no período compreendido entre 1982 e 2010, tanto as publicações quanto as citações não apresentaram crescimento, mantendo-se constante. Nesse período, foram publicados 37 artigos, representando 5,85% da amostra. O período entre 2011 e 2017 concentrou 9,34% da amostra, com um total de 59 publicações. No entanto, no período entre 2018 e 2022 foram publicados 536 trabalhos, representando 84,81% da amostra. Dessa forma, conforme evidenciado na Figura 1, a partir de 2018 ocorreu um aumento significativo na quantidade de publicações e no volume de citações dos artigos da amostra, demonstrando o aumento da relevância desta área de pesquisa nos últimos cinco anos e a tendência de crescimento para os próximos anos. Apesar de 2023 demonstrar aparente queda, ressaltamos que a busca foi realizada em novembro de 2022 e, portanto, não representa o total de trabalhos publicados em 2023.

**Figura 1**

Número de artigos e citações por ano (Scopus)



Fonte: Elaborado pelos autores

As citações, na base de dados da *Scopus*, também apresentaram crescimento semelhante. Entre 1982 e 2010, os artigos receberam 280 citações, representando 3,00% do total das citações. Entre 2011 e 2017 o número de citações representou 7,71% do total, com 719 citações. Da mesma forma que ocorreu com a quantidade de artigos publicados, as citações recebidas pelos artigos entre 2018 e 2022, cresceram exponencialmente e representaram 89,29% da amostra, com 8.327 citações. Neste cenário, os dados apresentados na Figura 1 indicam um crescente interesse pela temática.

Ressaltamos, que a taxa média de crescimento anual, entre 2018 e 2022, foi de 154,75%, conforme Figura 1. De acordo com estudos realizados por Bornann e Mutz (2015), a taxa média de crescimento científico é de aproximadamente de 8 a 9% ao ano. Infere-se que o comportamento do crescimento das publicações acompanha as discussões e preocupações globais a respeito do desenvolvimento sustentável, que tem se intensificado nos últimos anos, assim como a própria evolução das tecnologias da informação. O desenvolvimento das AgTechs se alinha de forma significativa com a Agenda 2030 das Nações Unidas. Esta agenda apresenta 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destinados a resolver alguns dos problemas mais prementes do mundo, incluindo a fome e a sustentabilidade ambiental (United Nations, 2015). Em particular, o ODS 2 visa erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover uma agricultura sustentável. Destaca-se também o ODS 12 que se concentra em assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis. As AgTechs contribuem diretamente para estes objetivos ao criar tecnologias que aumentam a eficiência e a sustentabilidade da produção agrícola.

#### 4.2 Análise dos artigos mais citados

A Tabela 1 apresenta os 10 artigos mais citados da amostra, o número total de citações e a média de citações por ano, na base de dados *Scopus*. A análise dos dados demonstra que as 10 obras com maior volume de citações representam 1,57% da amostra e acumulam 1.944 citações. O total de citações, dos 638 artigos da amostra, resulta em 9.424 citações. Dessa forma, 1,57% da amostra são responsáveis por 20,63% do total de citações na *Scopus*.

**Tabela 1**

*Artigos mais citados na base de dados da Scopus*

Título do Artigo	Autores	Título da Fonte (ISSN)	Citações totais	Média por ano	Minigráfico - Citações totais
			Scopus		
Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk	Ayaz <i>et al.</i> (2019)	IEEE Access (21693536)	310	7,75	
Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution	Lowry <i>et al.</i> (2019)	Nature Nanotechnology (17483387)	306	7,65	
The genus <i>Phomopsis</i> : Biology, applications, species concepts and names of common phytopathogens	Udayanga <i>et al.</i> (2011)	Fungal Diversity (15602745)	294	7,35	
Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming	Rose; Chilvers (2018)	Frontiers in Sustainable Food Systems (2571581X)	196	4,9	
Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance	Zhao <i>et al.</i> (2020)	Journal of Agricultural and Food Chemistry (218561)	166	4,15	
Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?	Klerkx; Rose (2020)	Global Food Security (22119124)	156	3,9	
Nanoparticle Size and Coating Chemistry Control Foliar Uptake Pathways, Translocation, and Leaf-to-Rhizosphere Transport in Wheat	Avellan <i>et al.</i> (2019)	ACS Nano (19360851)	152	3,8	
Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities	Rotz <i>et al.</i> (2019)	Journal of Rural Studies (7430167)	125	3,125	
A review of microwave synthesis of zinc oxide nanomaterials: Reactants, process parameters and morphologies	Wojnarowicz <i>et al.</i> (2020)	Nanomaterials (20794991)	121	3,025	
Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis	Weersink <i>et al.</i> (2018)	Annual Review of Resource Economics (19411340)	118	2,95	

Fonte: Elaborado pelos autores

O artigo mais citado da amostra foi *Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk* de Ayaz et al. (2019). O artigo aborda as tendências nas pesquisas na área da agricultura, baseada na Internet das coisas (IoT) e como integrar esta tecnologia com as técnicas agrícolas tradicionais. O Segundo artigo mais citado foi *Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech Revolution* de Lowry, Avellan e Gilbertson (2019) que aborda a utilização da nanotecnologia e nanomateriais para melhorar a eficiência do uso de insumos, reduzir os impactos ambientais e impulsionar a revolução agro tecnológica.

Na sequência, destaca-se o artigo de Udayanga et al. (2011) intitulado *The genus Phomopsis: biology, applications, species concepts and names of common phytopathogens*. O artigo apresenta uma visão sobre a taxonomia *Phomopsis*, para a redefinição da espécie, considerada pelos autores como fundamental para compreender a epidemiologia das doenças e possibilitar o desenvolvimento de medidas de controle mais eficazes para doenças de plantas.

Rose e Chilvers (2018) publicaram o quarto artigo mais citado *Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming*. Os autores defendem o desenvolvimento de uma estrutura mais ampla para a inovação responsável na agricultura sustentável, argumentando que, embora a agricultura inteligente possa oferecer grandes benefícios para a agricultura sustentável, a quarta revolução agrotecnológica também oferece riscos ambientais, éticos e sociais. Zhao et al. (2020) realizaram um estudo a respeito da aplicação de Nano-Biotecnologia na agricultura sustentável e como seu uso pode melhorar o desempenho da planta e tolerância ao estresse.

Klerkx e Rose (2020) trazem uma reflexão a respeito da inclusão e exclusão das tecnologias da Agricultura 4.0 e como se relacionam com a transição para sistemas agrícolas e alimentares mais responsáveis. Avellan et al. (2019) realizaram um estudo sobre as propriedades das nanopartículas e sua influência para as interações com as folhas da planta. Rotz et al. (2019) utilizaram a lente da justiça social para delinear tendências observadas na produção agrícola, tecnologia e mão de obra, no contexto canadense e o desenvolvimento Agtech mais equitativa e inclusiva.

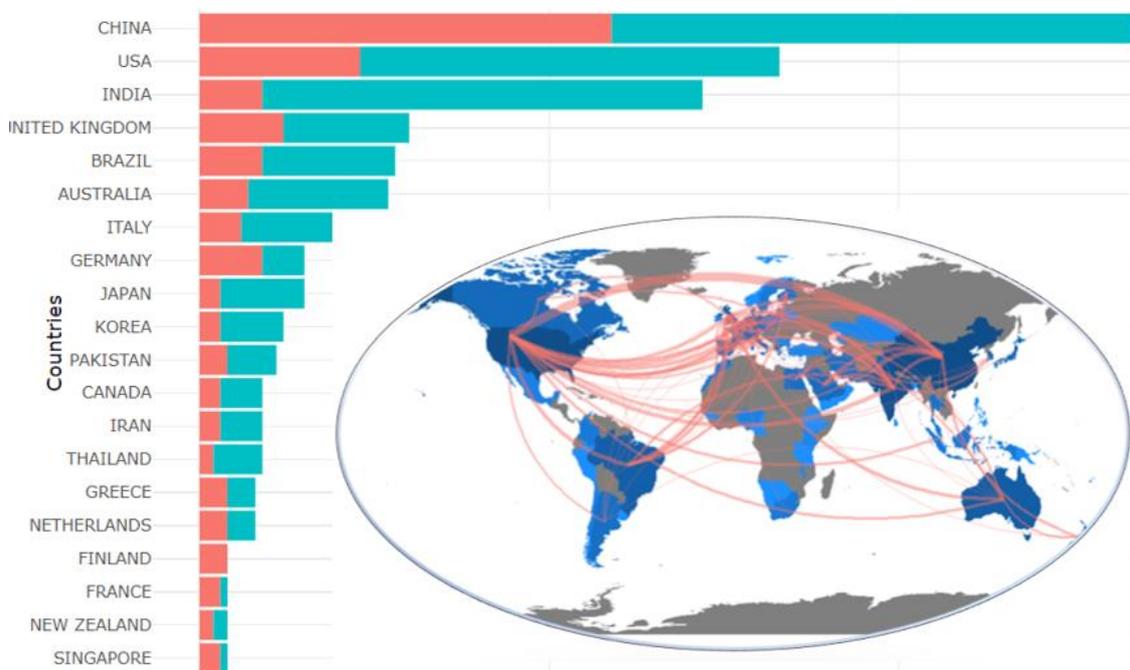
Wojnarowicz et al. (2020) realizaram um estudo com o objetivo de discutir o estado de pesquisa em relação à síntese por micro-ondas de Nanomateriais de Óxido de Zinco adotados e não adotados. O décimo artigo mais citado da amostra foi *Opportunities and Challenges for Big Data in Agricultural and Environmental Analysis* de Weersink et al. (2018) que analisa o estado da arte sobre os desafios e oportunidades decorrentes do desenvolvimento do *Big Date* e as questões políticas envolvidas.

#### 4.3 Análise dos países nos quais os pesquisadores mais publicaram

A Figura 2 compila duas informações principais: (I) O gráfico de barras demonstra os artigos produzidos em coautoria com outros países (Multiple Country Publications - MCP, representado pela cor laranja) e os artigos produzidos apenas por autores do próprio país (Single Country Publications - SCP, representado pela cor verde).

**Figura 2**

*Análise da influência e relevância dos países*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do software *Bibliometrix* com a base de dados da Scopus

No Quadro 3, abaixo, essas informações estão detalhadas em relação aos cinco países com maior volume de publicações.

### Quadro 3

#### Países com maior número de publicações

País	Artigos	Frequência	SCP	MCP	MCP_Razão
China	134	0.23592	75	59	0.440
Estados Unidos	83	0.14613	60	23	0.277
Índia	72	0.12676	63	9	0.125
Reino Unido	30	0.05282	18	12	0.400
Brasil	28	0.04930	19	9	0.321

**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do software *Bibliometrix*, com a base de dados da *Scopus*

A China se destaca com maior volume de artigos publicados (134 publicações), dos quais, 75 artigos foram produzidos dentro do país, representando 55,97% do total, e 59 artigos foram produzidos em coautoria com outros países, representando 44,03% do total. O Brasil ficou na quinta colocação em relação aos demais, produzindo um total de 28 artigos, dos quais 32,14% foram produzidos de forma cooperativa com outros países (9 artigos) e 67,86% foram produzidos apenas por autores do Brasil (19 artigos).

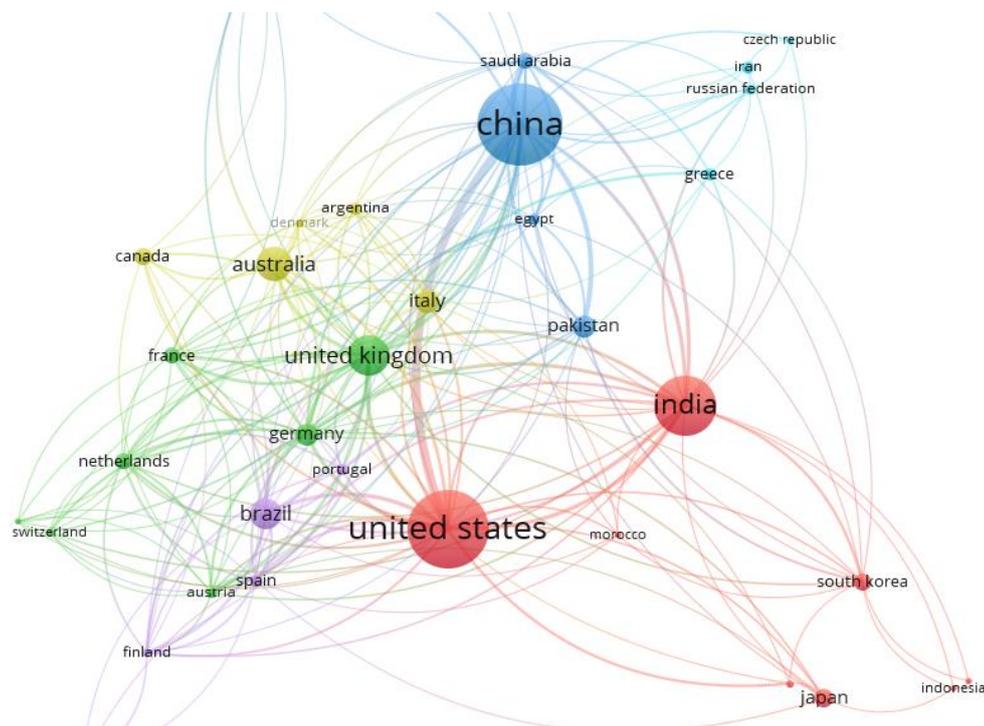
Além disso, o Quadro 3 lança luz para a questão da inserção internacional dos países, ou seja, a representação da expansão da cooperação internacional e da disseminação de produção científica. Dentre os cinco países, a China, o Reino Unido e o Brasil apresentam boa inserção internacional, tendo em vista o percentual dos artigos em coautoria com outros países (MCP\_Razão).

O mapa-múndi demonstra o fluxo da produção colaborativa entre os países, bem como sua distribuição geográfica. A figura indica uma concentração das pesquisas na China, Estados Unidos, Índia, Reino Unido e Brasil. A China possui o maior volume de coprodução com outros países, dentre os quais podemos destacar: Estados Unidos (39), Paquistão (12) e Arábia Saudita (8). Já os Estados Unidos, possui coautoria de produção principalmente com: Brasil (9), Alemanha (8) e Índia (8). No caso da Índia, destacam-se: Alemanha (6), Arábia Saudita (6) e Reino Unido (6). Os principais países com os quais o Reino Unido possui coautoria são: Austrália (7), França (6) e Alemanha (5). Por fim, em relação ao Brasil, evidenciam-se a coautoria com os países: Reino Unido (6), Finlândia (5) e Espanha (4).

De forma complementar, a Figura 3 apresenta a rede dos países mais citados.

**Figura 3**

*Rede de Países com maior número de citações*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do software *VOSviewer*, com a base de dados da *Scopus*

Os Estados Unidos aparecem em primeiro lugar, com 2090 citações, a China em segundo lugar, com 1459 citações, o Reino Unido em terceiro lugar com 625 citações, a Índia em quarto lugar com 551 e o Brasil em quinto lugar, com 486 citações.

#### *4.4 Análise dos periódicos que mais publicaram*

A Tabela 2 apresenta a frequência e o percentual do total de publicações sobre o tema nos periódicos da base de dados da Scopus. A análise demonstra que de todos os artigos coletados, 10 periódicos são responsáveis por 30% de todos os artigos da amostra, dentre eles o *Environmental Science Nano*, com 26 artigos publicados.

**Tabela 2**

*Periódicos que mais publicam – Scopus*

Periódicos	Frequência		ISSN	Fator de Impacto (2021)	Citação
	N	%		SJR	Scopus
Environmental Science Nano	26	6,55 %	20518153	1.591	168
Sustainability Switzerland	16	4,03 %	20711050	0.664	126
Science Of The Total Environment	12	3,02 %	489697	1.806	131
Environmental Science And Technology	11	2,77 %	0013-936X	2.635	182
ACS Nano	10	2,52 %	19360851	4.611	257
Environmental Pollution	9	2,27 %	2697491	1.954	48
Frontiers In Plant Science	8	2,02 %	1664-462X	1.359	64
Journal Of Agricultural And Food Chemistry	8	2,02 %	218561	1.018	261
ACS Agricultural Science And Technology	7	1,76 %	26921952		20
Journal Of Hazardous Materials	7	1,76 %	3043894	1.991	81
Nanoimpact	7	1,76 %	24520748	0.91	63

**Fonte:** Elaborado pelos autores com a base de dados da *Scopus*

#### 4.5 Análise das palavras-chave e Citation Bursts

A análise das palavras-chave permite identificar os termos com maior frequência na amostra selecionada. Conforme os dados da amostra, representados na Figura 4, *Agriculture* e *Nanoparticle* foram os termos com maior frequência (98 vezes). Na sequência, destacamos as seguintes palavras e suas respectivas frequências: *Article* (89), *Nonhuman* (88), *Nanotechnology* (52), *Soil* (51), *Controlled study* (51), *Agricultural Robot* (48), *Crop* (43), *Nanomaterial* (43) e *Metabolism* (41).

A Figura 4 também evidencia a explosão das 10 referências com maior rajada de citações. *Citation Burst* demonstra o grau de atenção dispensada pela comunidade científica para estes termos, evidenciando uma área ativa de pesquisa. Os termos mais discutidos em 2021 foram: *Agricultural Robot* e *Agrochemical*. Em 2020, os tópicos trabalhados foram: *Drug effect* e *Chemistry*. *Agricultural Robot* apresentou a maior força de citação (8.29) no período compreendido entre 2020 e 2021.

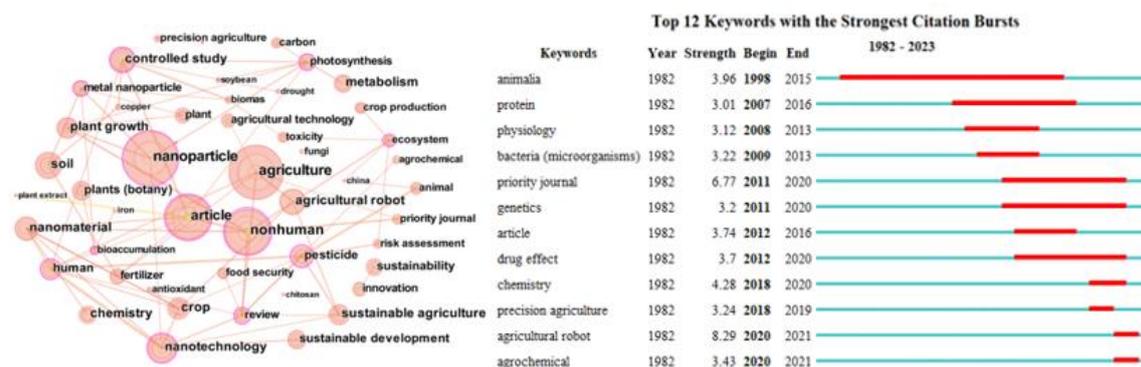
A alta ocorrência do termo *Agriculture* reforça o entendimento de diversos autores que têm utilizado esse termo como base teórica nos estudos sobre Agtechs. O termo *Nanoparticle*, *Nanotechnology* e *Nanomaterial* desempenha um papel significativo nas práticas agrícolas.

Segundo Xu et al., (2021); Lowry, Avellan e Gilbertson (2019) e Kakani et al. (2020), a automação e a inteligência artificial permitem iniciativas para alavancar e incorporar as inovações tecnológicas ao agronegócio. As *Nanotechnologies* se mostram eficientes, também, na fase de preparo de sementes, nos transportadores de agroquímicos, fertilizantes diretos, fungicidas e pesticidas. Sendo assim, tais tecnologias se mostram importantes para as condições de saúde do solo e plantas.

As palavras-chave *Nonhuman* e *Agricultural Robot* se referem às tecnologias mais recentes que impactam o setor da agricultura 4.0. A transformação digital no campo relaciona a agricultura com benefícios da tecnologia por meio de soluções de software. As tecnologias utilizadas na agricultura podem incluir sensores, dispositivos móveis, redes de comunicação, drones, robótica e inteligência artificial (Babenko, 2022; Dayioglu & Turker, 2021).

**Figura 4**

*Rede de palavras-chave*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do software *CiteSpace* com a base de dados da *Scopus*

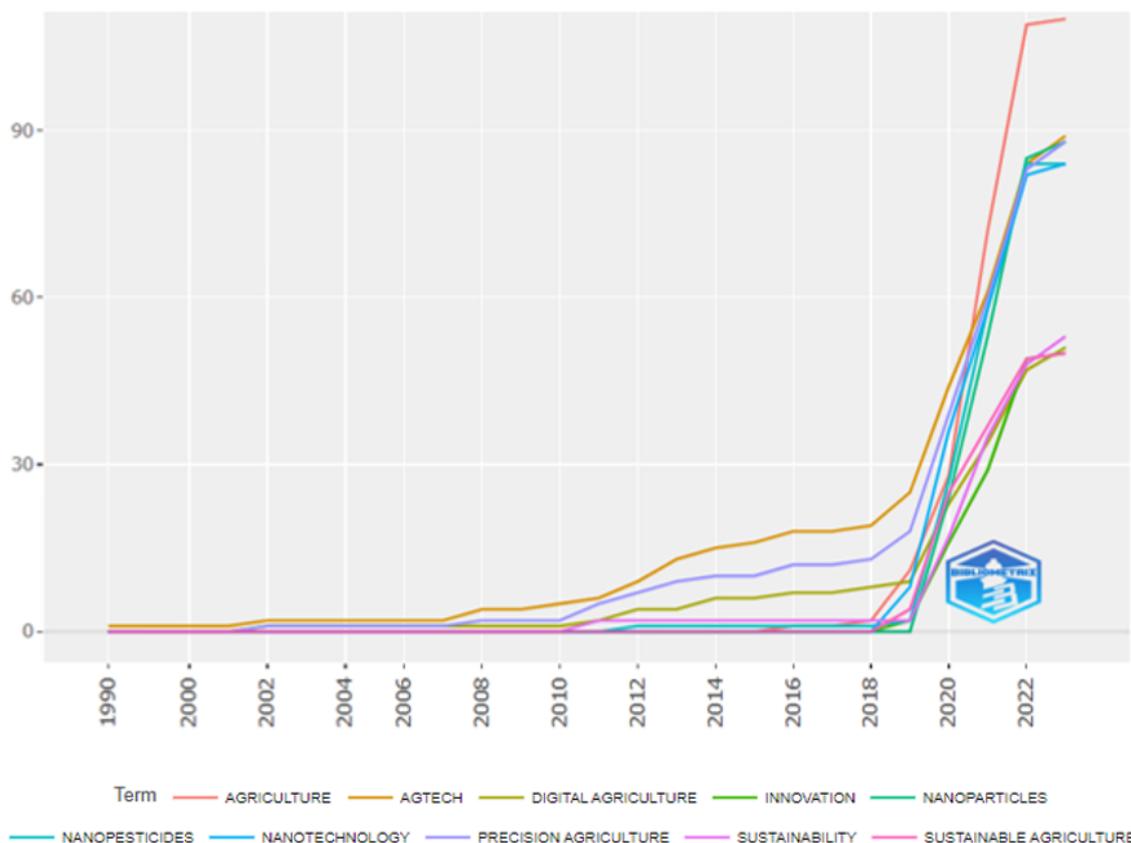
#### 4.6 Termos em Ascensão

A Figura 5 apresenta o comportamento dos 10 termos mais utilizados ao longo do tempo. De maneira geral, no período compreendido entre 1982 e 2012, a utilização desses termos nas publicações é constante e sem crescimento no período de 1982 a 2012. Os termos passam a apresentar crescimento a partir de 2012, com uma alta expressiva a partir de 2019.

Os termos que apresentaram maior crescimento foram agricultura, sustentabilidade e nanotecnologia. O termo Agtech começou a ser mais utilizado a partir de 2018, apresentando alta taxa de crescimento em publicações a partir de 2020. Percebe-se que o comportamento gráfico da aparição desses termos é semelhante ao comportamento do gráfico de número de publicações, apresentado na Figura 1.

**Figura 5**

*Tendências dos principais termos ao longo do tempo*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do software *Bibliometrix* com a base de dados da *Scopus*.

## 5 Análise da Base Intelectual (*Intellectual Base*)

### 5.1 Análise da rede de citações dos artigos mais citados e Citation Bursts

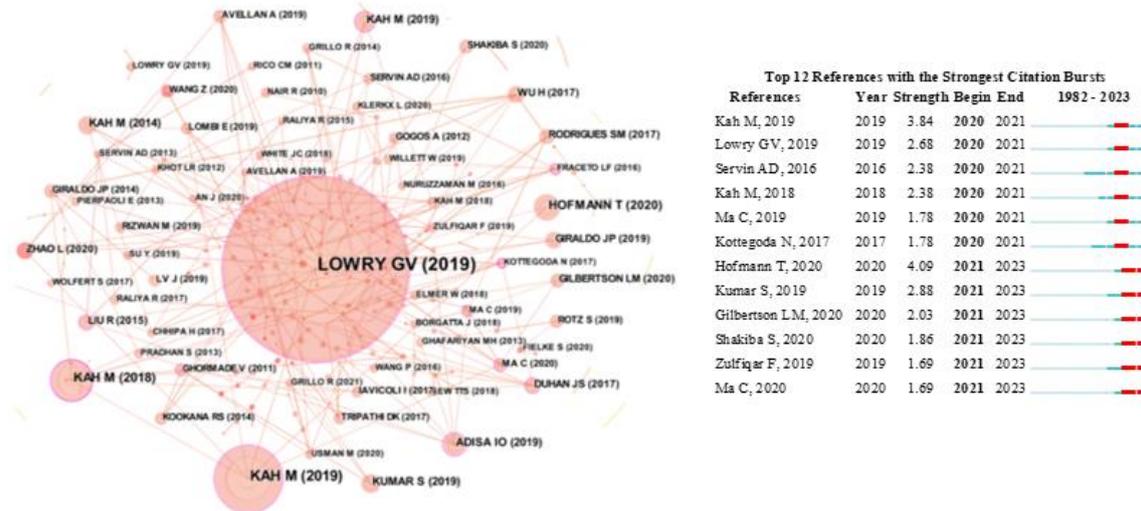
A análise de cocitação cria uma rede de documentos citados, que permite identificar os artigos altamente referenciados, uma vez que se baseia na contagem de artigos que citam, conjuntamente, dois documentos (Suominen, Seppänen & Dedehayir, 2019). Uma rede de referências com mais de 9 citações é demonstrada na Figura 6.

A Figura 6 apresenta a rede de referências dos autores mais citados na área. O trabalho de Lowry, Avellan e Gilbertson (2019) aparece em primeiro lugar, sendo a obra mais citada da amostra, demonstrando a influência no campo (175 citações). Em segundo no ranking aparece o trabalho de Kah, Tufenkji e White (2019), com 65 citações. O trabalho de Kah. et al.

(2018) aparece na terceira posição com 39 citações. O próximo trabalho do ranking é de Hofmann et al. (2020) com o total de 24 citações.

**Figura 6**

*Rede de cocitações dos artigos mais citados*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do *software CiteSpace* com a base de dados da *Scopus*

A Figura 6 também apresenta as 10 referências com maior explosão de citações e os respectivos períodos. O artigo de Hofmann et al. (2020) intitulado *Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture* apresenta a maior força de citação (4.09), portanto, exerce grande influência na temática. Na sequência, podemos destacar os seguintes trabalhos: Kah, Tufenkji e White (2019) *Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection*, com força de citação igual a 3.84; Kumar et al. (2019) *Nano-based smart pesticide formulations: Emerging opportunities for agriculture*, com força de citação igual a 2.88, dentre outros.

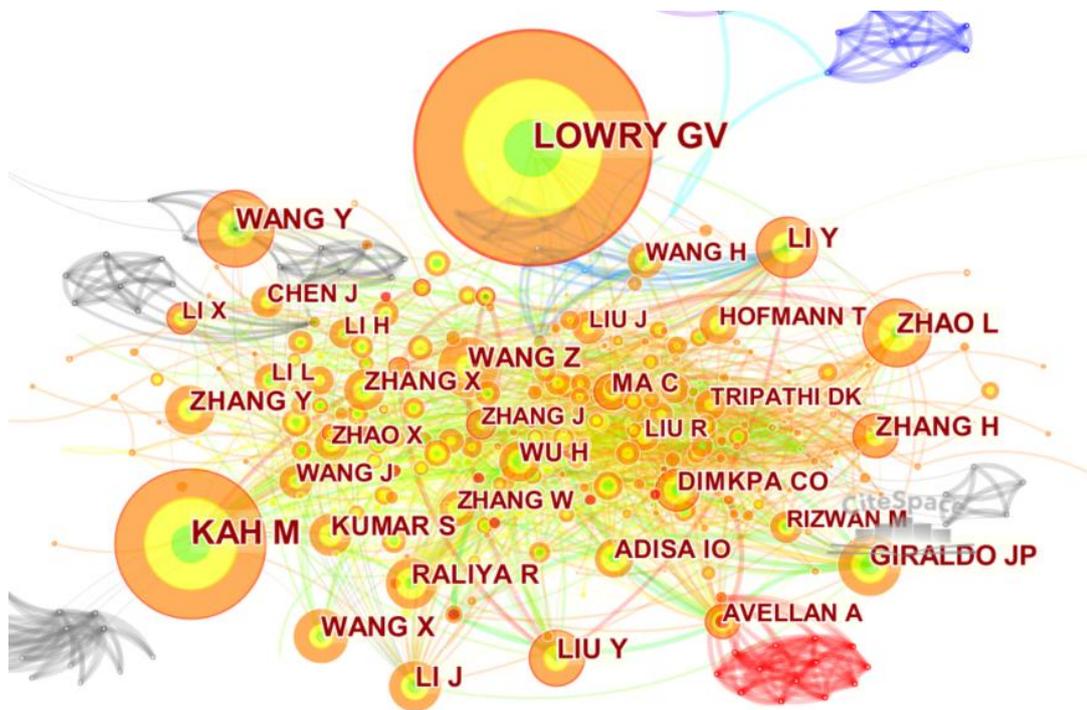
### 5.2 Análise da rede de cocitações dos autores mais citados

A Figura 7 demonstra a rede de cocitações dos autores mais citados, com frequência superior a 30 citações. Os autores mais citados foram: Lowry, G. V. (229), Kah, M. (147), Wang, Y. (80), Zhao, L. (67), Li, Y. (63), Wang, Z (62), Giraldo, J. P. (61), Liu, Y. (61) e Wang, X. (59). Os artigos de Lowry abordam a utilização da nanotecnologia e nanomateriais para melhorar a eficiência do uso de insumos, reduzem os impactos ambientais

e impulsionam a revolução agro tecnológica. Melaine Kah discute em seus trabalhos a respeito de tecnologias e processos atualmente existentes no campo.

### Figura 7

Rede de citações dos autores mais citados

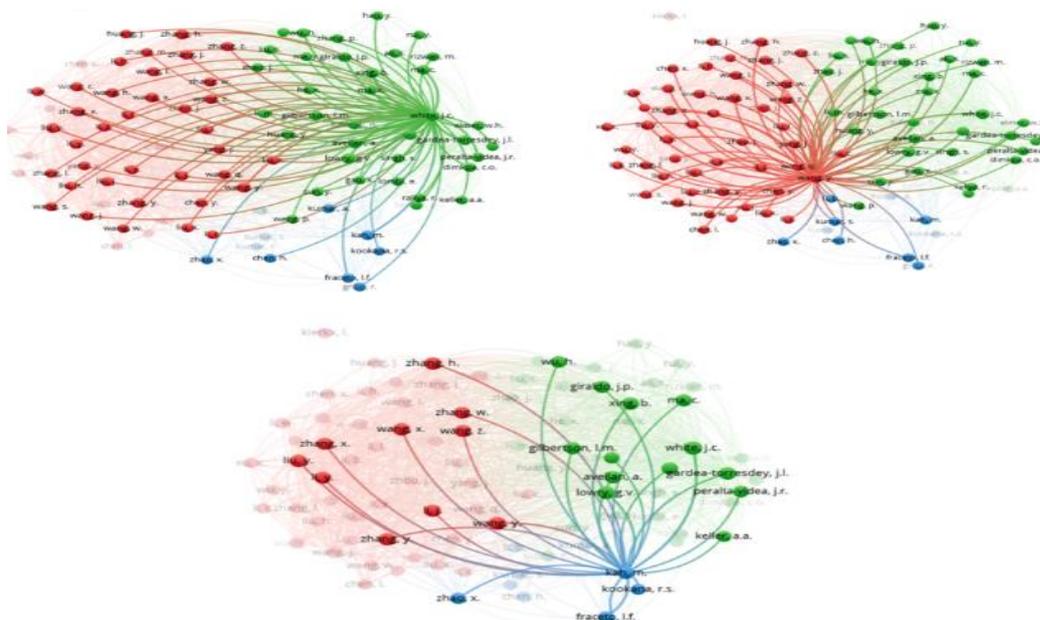


Fonte: Elaborado pelos autores por meio do uso do *software CiteSpace* com a base de dados da *Scopus*

A figura 8 divide a rede em três clusters. No cluster verde, o autor com maior força de ligação (49497) é o White, J. C.. O autor com maior força de ligação (48746) no cluster vermelho é o Wang, Y. Já o cluster azul possui Kah, M. como o autor com maior força de ligação (20538).

**Figura 8**

*Rede de citações dos autores mais citados divididos por cluster*



**Fonte:** Elaborado pelos autores por meio do uso do *software VOSviewer* com a base de dados da *Scopus*

## 6 Agenda de estudos futuros

Para avaliar as tendências de pesquisas futuras, os artigos publicados na base de dados da *Scopus*, em 2022, foram analisados em relação às lacunas da literatura científica identificadas pelos respectivos autores. Restringimos esta análise aos artigos publicados em 2022, uma vez que as pesquisas nessa temática apresentam crescente evolução e, possivelmente, ainda não estariam totalmente refletidas na literatura atual. Ao delimitar a análise a este período, buscamos capturar o estado da arte da pesquisa e identificar tendências emergentes e carentes de investigação adicional. Assim, inicialmente, 188 artigos publicados na base de dados da *Scopus*, em 2022, foram analisados quanto ao alinhamento ao escopo da pesquisa. Além de identificar sugestões para futuras pesquisas, avaliamos cada artigo com base em sua relevância temática para o objetivo da pesquisa e seu rigor metodológico. Optamos por utilizar o método manual de análise de conteúdo, em decorrência do tamanho da amostra, que permitiu maior flexibilidade e interação com os dados, fornecendo *insights* ricos e detalhados sobre as tendências emergentes e lacunas na literatura científica.

Após a leitura flutuante, com o objetivo de realizar uma triagem dos artigos alinhados com a proposta da pesquisa, 66 trabalhos foram selecionados para uma análise mais aprofundada. Desses, 10 artigos não foram localizados e 18 não ofereceram sugestões para

futuros estudos, resultando em uma amostra final de 38 artigos, os quais foram submetidos a uma análise mais rigorosa.

Assim, a partir da análise dos artigos que compuseram a amostra final, mapeamos, categorizamos e agrupamos todas as sugestões em 5 categorias que norteiam as tendências principais identificadas para estudos futuros e que estão mapeados na Tabela 3: (I) Radar tecnológico agrícola, (II) Sustentabilidade, (III) Consequências da agricultura 4.0, (IV) Desenvolvimento rural, e (V) Arranjo organizacional das Agtechs.

**Tabela 3**

*Categorias de estudos futuros e autores que as sugeriram*

<b>Categoria</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Autores</b>
Radar tecnológico agrícola	Direitos e utilização dados agrícolas	Atik (2022), Dineva e Atanasova (2022), Farooq et al. (2022a), Farooq et al. (2022b), Fountas et al. (2022), Jacquet et al. (2022), Maximo et al. (2022), Mendes et al. (2022), Mohapatra e Rath (2022), Munir et al. (2022), Muthukrishnan (2022), Schulz et al. (2021), Spanaki et al. (2021), Sun et al. (2022).
	Otimização de tecnologias existentes	
	Mapeamento de tecnologias da Agtechs	
Sustentabilidade	Indicadores de sustentabilidade	Aliabadi et al. (2022), Farooq et al. (2022b), Fischer et al. (2022), Frare e Beuren (2021), Guzmán; Dominguez (2022), Jacquet et al. (2022), Liu et al. (2022), MacPherson et al. (2022), Manning et al. (2022), Maximo et al. (2022), Mendes et al. (2022), Paget et al. (2022), Parkes et al. (2022), Puntel et al. (2022), Silveira et al. (2023), Spanaki et al. (2021).
	Empreendedorismo verde	
	Desenvolvimento sustentável	
Consequências da agricultura 4.0	Fator humano vs fator digital	Barrett e Rose (2022), Ding et al. (2022), Espig et al. (2022), MacPherson et al. (2022), Mendes et al. (2022), Munir et al. (2022), Puntel et al. (2022), Shukla et al. (2022).
	Inovação responsável	
Desenvolvimento rural	Prática social rural	Espig et al. (2022), MacPherson et al. (2022), Jacquet et al. (2022), Manning et al. (2022), Puntel et al. (2022), Schulz et al. (2021), Swain et al. (2022), Zanetti et al. (2022).
	Políticas Públicas (educação rural, projetos de extensão, problemas sociais locais)	
Arranjo organizacional e institucional das Agtechs	Modelos de negócios	Bertucci Ramos e Pedroso (2022), Nandi et al. (2022), Fadul-Pacheco et al. (2022), Ghezzi et al. (2020), Lew et al. (2022), Lin et al. (2020), Mendes et al. (2022), Pigola e Rezende (2022), Zanetti et al. (2022).
	Relações institucionais (blockchain, confiança, responsabilidade social corporativa)	
	Capacidades dinâmicas	

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Em relação ao radar tecnológico agrícola, propõe-se que estudos futuros avaliem a criação, desenvolvimento ou otimização de tecnologias de modo a identificar seu impacto

econômico, ambiental e social. Estudos patentários e/ou de propriedade intelectual também são interessantes, pois podem mapear o fluxo de depósito de novas tecnologias, verificar como se dá a transferência de tecnologias relacionadas à agricultura 4.0, além de sondar quais propriedades intelectuais estão sendo criadas pelas Agtechs.

Na categoria sustentabilidade, é possível estudar a criação de indicadores ou seu acompanhamento, tanto das Agtechs como de ecossistemas de inovação agrícola. Além disso, estudos empíricos junto às Agtechs e propriedades rurais podem traçar como ocorre a cadeia de valor sustentável.

A respeito das consequências da agricultura 4.0, sugere-se a realização de estudos que averiguem os impactos dessa revolução, especialmente na dinâmica das propriedades rurais. Questiona-se: o impacto da chegada da tecnologia afeta igualmente os proprietários e os empregados? E afeta a comunidade local? Estes são alguns questionamentos.

Referente à categoria desenvolvimento rural, recomenda-se estudos sociológicos relacionados à agenda de políticas públicas nessa área. Para além de estudar o papel das Agtechs nesse contexto, é crucial entender a atuação de burocratas, movimentos sociais, partidos políticos, mídia, entre outros. Além disso, seria interessante verificar se tais políticas estão sendo desenvolvidas no modelo *bottom-up* ou *top-down*.

Por fim, em relação ao arranjo organizacional e institucional das Agtechs, sugere-se estudos organizacionais que estruturam as relações intra e interorganizacional das Agtechs e que estabeleçam como ocorre seu relacionamento em redes, conglomerados e ecossistemas de inovação.

## Considerações Finais

O presente artigo teve como objetivo mapear a produção científica e apontar as tendências de estudos futuros sobre as Agtechs. Observou-se, por meio dos procedimentos metodológicos apresentados, que as Agtechs são fundamentais para nortear a revolução agrícola em direção ao crescimento sustentável global.

O estudo bibliométrico apontou que as Agtechs e seus temas satélites têm sido fortemente pesquisados atualmente, especialmente nos últimos quatro anos. Isso demonstra a relevância e influência da temática tanto por seu aspecto sustentável quanto pelas novas tecnologias disruptivas que vêm sendo criadas. Verificou-se que o artigo mais citado se refere às tendências nas pesquisas na área da agricultura, baseada na Internet das coisas (IoT), discutindo a importância da integração dessa tecnologia com as técnicas agrícolas tradicionais.

Os países com maior fluxo de pesquisa foram a China, Estados Unidos, Índia, Reino Unido e Brasil.

A pesquisa buscou contribuir com a agenda de estudos futuros sugerindo cinco categorias: (I) Radar tecnológico agrícola, (II) Sustentabilidade, (III) Consequências da agricultura 4.0, (IV) Desenvolvimento rural, e (V) Arranjo organizacional das Agtechs. Tais categorias são um norte para diversas oportunidades de estudos para pesquisadores das áreas de ciências sociais, ciências exatas e da terra, engenharias e ciências agrárias.

Apointa-se como limitações deste estudo a utilização apenas da base de dados da Scopus. Dessa forma, sugere-se que estudos futuros ampliem as bases de busca, tendo em vista que novas fontes e registros adicionais podem ser incorporados ao estudo.

Por fim, este artigo colabora cientificamente para fornecer direcionamentos para futuros estudos aos pesquisadores interessados na temática da Agtechs. Por meio de indicadores bibliométricos, nosso estudo permitiu mapear as publicações existentes na área e a evolução do campo científico, identificar temas emergentes, bem como apresentar as principais tendências de estudos futuros baseados nas sugestões dos autores das obras mais recentes da amostra analisada.

## Referências

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive Science

mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Avellan, A., et al. (2019). Nanoparticle size and coating chemistry control foliar uptake

pathways, translocation, and leaf-to-rhizosphere transport in wheat. *ACS nano*, 13(5),

5291-5305. Doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.8b09781>

Ayaz, M., et al. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the

fields talk. *IEEE access*, 7, 129551-129583. Doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932609

- Babenko, V., et al. (2022). Agritech startup ecosystem in Ukraine: ideas and realization. In Digital Transformation Technology. Springer, Singapore, 311-322. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2275-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2275-5_19)
- Bornmann, L., & Mutz, R. (2015). Growth rates of modern science: A bibliometric analysis based on the number of publications and cited references. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(11), 2215-2222. Doi: <https://doi.org/10.1002/asi.23329>
- Chen, C. (2004). Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(Suppl\_1), 5303-5310. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0307513100>
- Chen, C. (2006). CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transiente patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3), 359-377. Doi: <https://doi.org/10.1002/asi.20317>
- Costa, J. T. F., & Costa, V. S. (2022). O pagamento por serviços ambientais: uma análise para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar do Rio Grande do Sul Payment for environmental services: an analysis for the sustainable development of family agriculture in Rio Grande do Sul. *Brazilian Journal of Development*, 8(2), 10172-10186. DOI:10.34117/bjdv8n2-114

- Dayioglu, M. A., & Turker, U. (2021). Digital Transformation for Sustainable Future-Agriculture 4.0: A review. *Journal of Agricultural Sciences*, 27(4), 373-399. Doi: <https://doi.org/10.15832/ankutbd.986431>
- Donthu, N., et al. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dutia, S. (2014). Agtech: Challenges and opportunities for sustainable growth. Available at SSRN 2431316. Doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2431316>
- Eck, N. J. V., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In *Measuring scholarly impact*. Springer, Cham, 285-320. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13)
- Farooq, M. S., et al. (2020). Role of IoT technology in agriculture: A systematic literature review. *Electronics*, 9(2), 319. Doi: [10.3390/electronics9020319](https://doi.org/10.3390/electronics9020319)
- Filser, L. D., et al. (2017). State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 112(2), 799-816. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2409-8>
- Gomes, L. A. V., et al. (2018). Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 30-48. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.009>

- Hofmann, T., et al. (2020). Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. *Nature Food*, 1(7), 416-425. Doi: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0110-1>
- Iddy, J. J., & Alon, I. (2019). Knowledge management in franchising: a research agenda. *Journal of Knowledge Management*, 23(4), 763-785. Doi: <https://doi.org/10.1108/JKM-07-2018-0441>
- Kah, M., et al. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nature nanotechnology*, 13(8), 677-684. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>
- Kah, M., et al. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. *Nature nanotechnology*, 14(6), 532-540. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>
- Kakani, V., et al. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in the food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100033. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100033>
- Klerkx, L., & Rose, D. (2020). 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*, 24, 100347. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

Kumar, S., et al. (2019). Nano-based smart pesticide formulations: Emerging opportunities for agriculture. *Journal of Controlled Release*, 294, 131-153. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2018.12.012>

Lowry, G. V., et al. (2019). Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature nanotechnology*, 14(6), 517-522. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0461-7>

Mahmud, R., Ramamohanarao, K., & Buyya, R. (2020). Application management in fog computing environments: A taxonomy, review and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(4), 1-43. Doi: <https://doi.org/10.1145/3403955>

Minayo, M. C. S. (2000). *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde (7a ed.)*. São Paulo: Hucitec; Rio de Janeiro: Abrasco, p. 197-211.

Prado, J. W., et al. (2016). Multivariate analysis of credit risk and bankruptcy research data: a bibliometric study involving different knowledge fields (1968-2014). *Scientometrics*, 106(3), 1007-1029. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1829-6>

Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9(1), 12. Doi: <https://doi.org/10.3390/publications9010012>

Quintam, C. P. R., & de Assunção, G. M. (2023). Panorama do Agronegócio Exportador Brasileiro. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar  
<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i7.3642>

Ries, E. (2012). A startup enxuta. Leya.

Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 87. Doi:  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>

Rotz, S., et al. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labor and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112-122. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>

Sesso Filho, U. A., et al. (2021). Measurement of the agro-industrial complex in the world: a comparative study between countries. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60. Doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235345>

Spanaki, K., et al. (2022). Disruptive technologies in agricultural operations: a systematic review of AI-driven AgriTech research. *Annals of Operations Research*, 308(1), 491-524. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03922-z>

Suominen, A., Seppänen, M., & Dedehayir, O. (2019). A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: a research agenda. *European Journal of Innovation Management*, 22(2), 335-360. Doi: <https://doi.org/10.1108/EJIM-12-2017-0188>

Udayanga, D., et al. (2011). The genus *Phomopsis*: biology, applications, species concepts and names of common phytopathogens. *Fungal diversity*, 50(1), 189-225. Doi:

<https://doi.org/10.1007/s13225-011-0126-9>

UN, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (UN, New York, 2015); <http://bit.ly/TransformAgendaSDG-pdf>

Vieira Filho, J. E. R., & Fishlow, A. (2017). Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade.

Weersink, A., et al. (2018). Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annual Review of Resource Economics*, 10(1), 19-37. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>

Wojnarowicz, J., Chudoba, T., & Lojkowski, W. (2020). A review of microwave synthesis of zinc oxide nanomaterials: Reactants, process parameters and morphologies. *Nanomaterials*, 10(6), 1086. Doi: <https://doi.org/10.3390/nano10061086>

Xu, J., et al. (2021). Current and emergent analytical methods for monitoring the behavior of agricultural functional nanoparticles in relevant matrices: A review. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 33, 100706. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100706>

Zhao, L., et al. (2020). Nano-biotechnology in agriculture: Use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(7), 1935-1947. Doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>