

# **HENRIQUE PIRES DOS SANTOS LAMAS**

Os sonhos da economia e os contrapontos da ecologia: revisão de problemáticas,  
inovações e panorama do agronegócio brasileiro

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientador: Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado  
Coorientador: Carlos Alejandro Schery

Departamento de Engenharia Industrial  
Rio de Janeiro, 21 de novembro de 2024.

## Resumo

O agronegócio brasileiro desempenha um papel essencial na economia nacional e global, ao mesmo tempo em que enfrenta desafios críticos. Este trabalho aborda a relação entre as problemáticas logísticas e ambientais do setor, explorando também o impacto da sustentabilidade e da inovação tecnológica neste pilar tão importante do Brasil. A região da Amazônia, com sua importância climática e biodiversidade única, é central na discussão, considerando que práticas insustentáveis ameaçam seu equilíbrio ecológico, assim como o panorama de transporte utilizado no escoamento da produção e as práticas agrícolas em termos de produtividade. A pesquisa, baseada em uma revisão bibliográfica e análise de dados quantitativos e qualitativos, identifica gargalos logísticos, como perdas significativas de produtos devido a armazenamento inadequado e transporte ineficiente, além de lacunas no uso de tecnologias avançadas, como IoT, Blockchain e Inteligência Artificial, no agronegócio. Dessa forma, os resultados revelam a necessidade de uma abordagem integrada, que alinhe inovações tecnológicas às práticas sustentáveis no agronegócio. Em conclusão, o agronegócio brasileiro tem um papel estratégico na agenda global de sustentabilidade, mas enfrenta desafios que exigem colaboração entre governo, setor privado e sociedade civil. Este trabalho oferece contribuições teóricas e práticas ao propor soluções que integram sustentabilidade e inovação, visando uma transformação mais responsável do setor.

**Palavras-chave:** Agronegócio, Sustentabilidade, Indústria 4.0, Logística, Cadeia de Suprimentos.

## **Abstract**

The Brazilian agribusiness plays an essential role in both the national and global economy while facing critical challenges. This study addresses the relationship between the sector's logistical and environmental issues, also exploring the impact of sustainability and technological innovation on this pivotal pillar of Brazil. The Amazon region, with its climatic importance and unique biodiversity, is central to the discussion, considering that unsustainable practices threaten its ecological balance, as well as the transportation systems used for production flow and agricultural practices in terms of productivity. The research, based on a bibliographic review and the analysis of quantitative and qualitative data, identifies logistical bottlenecks, such as significant product losses due to inadequate storage and inefficient transport, along with gaps in the use of advanced technologies like IoT, Blockchain, and Artificial Intelligence in agribusiness. Thus, the findings reveal the need for an integrated approach that aligns technological innovations with sustainable practices in the sector. In conclusion, Brazilian agribusiness holds a strategic role in the global sustainability agenda but faces challenges that require collaboration among government, private sector, and civil society. This study offers theoretical and practical contributions by proposing solutions that integrate sustainability and innovation, aiming for a more responsible transformation of the sector.

**Keywords:** Agribusiness, Sustainability, Industry 4.0, Logistics, Supply Chain.

## Sumário

1. Introdução .....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Motivação e Lacunas .....	2
1.1 Objetivo.....	3
1.1 Contribuições Esperadas .....	3
1.1 Estrutura.....	4
2. Fundamentação Teórica.....	5
2.1 Panorama Ambiental.....	5
2.1.1 O Bioma.....	5
2.1.2 Problemáticas .....	7
2.2 Panorama Logístico e da Cadeia de Suprimentos.....	9
2.2.1 Contexto.....	9
2.1.2 Logística do Agronegócio Brasileiro .....	12
2.3 Panorama de Inovações no Agronegócio.....	16
3. Metodologia .....	19
4. Resultados .....	23
4.1 Análise Descritiva.....	23
4.1.1 Publicações por Ano .....	23
4.1.2 Histórico das Palavras-Chave .....	24
4.1.3 Análise Temática .....	25
4.1.4 Análise Fatorial.....	27
4.2 Análise de Conteúdo.....	28

4.2.1 Sustentabilidade e Impacto Ambiental .....	29
4.2.2 Logística e Infraestrutura no Agronegócio .....	31
4.2.3 Digitalização e Inovações .....	33
5. Discussão.....	36
6. Agenda de Pesquisa .....	40
7. Conclusão.....	43
Referências Bibliográficas .....	44
Anexo 1.....	55

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Quantidade de Publicações Científicas .....	10
Figura 2: Matriz SWOT sobre Digitalização na Logística Agrícola .....	11
Figura 3: Malha Ferroviária Brasileira .....	13
Figura 4: Malha Ferroviária Brasileira no Mato Grosso.....	14
Figura 5: Expansão da Malha Ferroviária Brasileira no Mato Grosso.....	15
Figura 6: Ferrogrão: Projeto em Discussão .....	15
Figura 7: Fluxograma PRISMA.....	21
Figura 8: Produção Científica Anual .....	23
Figura 9: Principais Palavras-Chave.....	24
Figura 10: Temas em Destaque.....	25
Figura 11: Mapa Temático de Palavras-Chave.....	26
Figura 12: Mapa Temático Evolutivo .....	27
Figura 13: Mapa Fatorial .....	28
Figura 14: Framework da Interseção entre os Temas .....	38

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Termos de Busca Utilizados .....	19
Tabela 2: Critérios de Inclusão/Exclusão .....	20
Tabela 3: Focos e Objetivos de Pesquisa.....	29
Tabela 4: Focos e Objetivos de Pesquisa.....	31
Tabela 5: Focos e Objetivos de Pesquisa.....	33

Tabela 6: Taxonomia dos Objetivos .....	37
Tabela 7: Perguntas de Pesquisas Futuras .....	41
Tabela 8: Referências às Perguntas de Pesquisas Futuras.....	42

# 1 Introdução

Será introduzido nesta seção o tema central do trabalho e as motivações que me fizeram escolhê-lo dentre tantos outros. O leitor terá uma visão geral das questões de pesquisa que serão discutidas ao longo do texto, bem como das contribuições esperadas com o trabalho. Além disso, a introdução também fornecerá uma visão da estrutura do trabalho, indicando como os capítulos foram organizados. O objetivo dessa seção é de preparar o leitor quanto ao resto do trabalho, contextualizando-o sobre a importância do estudo e o seu esqueleto.

## 1.1 Contexto

Temas ambientais tornaram-se ainda mais intrigantes e essenciais atualmente não apenas pela sua gravidade em contextos globais, mas também pela clareza sobre suas causas e as medidas necessárias para mitigar a situação (SMITH et al., 2023). Estima-se que até o fim do século XXI centenas de milhões de pessoas poderão ser deslocadas de suas casas por problemas climáticos (GARCIA; HU, 2022) e que nove milhões de mortes anuais se tornem atribuídas a causas relacionadas ao clima em um futuro próximo (LEE et al., 2021). No contexto da biodiversidade, cerca de 49% dos insetos, 44% das plantas e 26% dos vertebrados poderão perder mais de 50% de seus habitats até o fim do século (WARREN et al., 2018). Acerca das consequências econômicas, 23% do PIB global estaria em risco devido a danos climáticos, com os países mais pobres enfrentando uma redução de até 75% em suas rendas, enquanto os países mais ricos poderiam ter apenas pequenos ganhos com a mudança do clima (BURKE; HSIANG, 2015).

O Brasil possui um bem natural único no mundo e fundamental para a manutenção climática global: a Amazônia (SILVA et al., 2023). Considerando o histórico de ineficiência das atividades econômicas no Norte e Centro-Oeste do país em relação às questões ambientais e o fato de que o agronegócio brasileiro é um dos setores mais relevantes da economia nacional, torna-se essencial reduzir os gargalos existentes nessa atividade, integrando soluções inteligentes à produção e à cadeia de suprimentos (MOURA; COSTA, 2022). Ao mesmo tempo, a implementação de uma gestão mais sustentável de recursos é crucial para equilibrar o debate entre crescimento econômico e preservação ecológica (OLIVEIRA et al., 2021). Este estudo, portanto, revisa as problemáticas, inovações e o panorama do agronegócio

no Brasil, com ênfase no papel da logística em promover práticas sustentáveis e aumentar a eficiência econômica nacional (GOMES et al., 2023).

## **1.2 Motivação e lacunas**

A motivação do trabalho provém das necessidades ambientais urgentes do século XXI e, também, da enorme responsabilidade brasileira nesse tabuleiro. O tópico é pouco conversado pela sociedade civil em geral e quaisquer trabalhos que disseminem informações relevantes sobre ele carregam enorme importância.

Dentre os elementos-chaves que motivaram esse estudo e que foram obtidos através de pesquisas ao longo do tempo e também através do conteúdo ministrado no curso de Engenharia de Produção, constam:

1. Desafios do agronegócio brasileiro, que enfrenta impasses logísticos significativos que limitam sua eficiência e sustentabilidade.
2. Inovação e digitalização do agronegócio brasileiro, cuja tecnologia poderia ser um agente de redução de perdas e melhoria da gestão dos recursos.
3. Contexto ambiental na Amazônia e mitigação de impactos.

A literatura aponta que a dependência de métodos de transporte e armazenamento ineficientes impõem desperdícios consideráveis pela cadeia de suprimentos agrícola no Brasil, gerando perdas econômicas e ecológicas associadas (SANTOS et al., 2021); que tecnologias como Internet das Coisas, Blockchain e Inteligência Artificial podem reduzir perdas pela cadeia e promover uma gestão mais eficiente de recursos, porém que a adoção ampla dessas inovações ainda sofre com barreiras (NUNES et al., 2022); que, apesar dos avanços, ainda há uma enorme ineficiência quanto ao uso de áreas desmatadas e subutilizadas pelo país (MULLER; FREITAS, 2022); e que a falta de uma abordagem integrada que alinhe os objetivos de inovação tecnológica e preservação ambiental no agronegócio cria lacunas que afetam o desempenho do setor (RODRIGUES et al., 2021). Este trabalho busca responder a essas lacunas, propondo uma análise integrada das problemáticas e inovações no agronegócio.

## **1.3 Objetivo**

O objetivo deste trabalho, portanto, é unir diferentes questões que permeiam o agronegócio brasileiro – seu panorama ambiental, sua infraestrutura logística e inovações – em um único texto, trazendo mais riqueza a um tema que, muitas vezes, é explorado apenas por uma única direção. O objetivo geral do trabalho, assim, é de realizar uma revisão crítica da literatura do tema buscando um alinhamento entre eficiência econômica e preservação ambiental e, para alcançar tal objetivo geral, foi estabelecido os seguintes objetivos específicos, cada qual relacionado com um dos elementos-chave e seus gaps que motivaram este trabalho:

1. Identificar os principais desafios logísticos que impactam o agronegócio no Centro-Oeste e Norte do país, polo de suas problemáticas ambientais;
2. Explorar as inovações tecnológicas e práticas sustentáveis que estão sendo implementadas no setor, com ênfase na digitalização da cadeia de suprimentos e seus benefícios;
3. Explorar caminhos para a mitigação dos impactos ambientais relacionados ao agronegócio brasileiro, de modo que o seu desenvolvimento tenha como base a sustentabilidade.

#### **1.4 Contribuições esperadas**

Acredito que o trabalho terá como principal contribuição a união de sínteses econômica, ecológica e tecnológica que permeiam o agronegócio, servindo assim como um instrumento de estudo ao mesmo tempo detalhado e abrangente. Tal contribuição abrange um contexto teórico, político e sustentável, evidenciando o fato de que o uso de recursos naturais é um assunto com profundos impactos econômicos e sociais.

No ponto de vista teórico, esta pesquisa busca ajudar a preencher uma lacuna ainda existente na literatura ao integrar a análise de sustentabilidade e inovação tecnológica com as práticas do agronegócio, tema ainda pouco explorado em conjunto (SILVA et al., 2023); Já no ponto de vista político, ao evidenciar impactos econômicos e ambientais de práticas agrícolas pouco sustentáveis e fornecer informações voltadas à eficiência e sustentabilidade no agronegócio, ela pode contribuir para a formulação de políticas públicas e tomadas de decisões por entidades privadas, ambas feitas com maior responsabilidade; por último, no ponto de vista da sustentabilidade, esta pesquisa responde a alguns dos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (SDGs), incluindo o SDG 12 (Consumo e Produção Responsáveis), SDG 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e SDG 15 (Vida Terrestre), uma vez que promove práticas que visam reduzir a degradação ambiental e, portanto, proteger a biodiversidade. Ao explorar maneiras de integrar práticas sustentáveis ao agronegócio brasileiro, o estudo não só auxilia na redução de impactos ambientais adversos, mas também propõe caminhos para uma transição verde que apoie o desenvolvimento econômico sem comprometer o meio ambiente (COSTA; LIMA, 2021).

Espera-se que esse trabalho dialogue diretamente com empresas de logística e produtores do agronegócio, trazendo transparência e discussões sobre o presente e o futuro de tais atividades e estimulando a busca por eficiência sustentável por parte dessas corporações e famílias.

## **1.5 Estrutura**

A pesquisa está organizada em quatro capítulos. O **Capítulo 2** fornece a fundamentação teórica sobre os temas abordados, discutindo as fragilidades do bioma amazônico e a união desse tema com a digitalização da cadeia de suprimentos e os gargalos logísticos no Brasil, como também possíveis inovações que prometem melhorar a eficiência da atividade agropecuária no país. O **Capítulo 3** descreve a metodologia de pesquisa aplicada no trabalho, o **Capítulo 4** realiza uma análise dos dados obtidos e o **Capítulo 5** apresenta uma discussão sobre o estudo, respondendo às perguntas fornecidas como objetivos na introdução. Já o **Capítulo 6** sugere futuras investigações sobre o tema e, por fim, o **Capítulo 7** oferece a conclusão do trabalho.

## **2 Fundamentação Teórica**

Nesta seção o leitor encontrará uma revisão aprofundada sobre os conceitos centrais que sustentam o trabalho, tendo início na temática ambiental que permeia o agronegócio brasileiro, para então tratar da temática logística e por último da questão das inovações no meio. Ao apresentar as teorias e conceitos mais relevantes do trabalho, essa parte permitirá ao leitor situar o estudo no contexto mais amplo da área de conhecimento, construindo as bases necessárias para as discussões que o seguem.

### **2.1 Panorama ambiental**

#### **2.1.1 O bioma**

Um consenso antigo na comunidade científica era de que ecossistemas se formavam baseados puramente em padrões climáticos, ou seja, o clima era causa da biodiversidade (FREITAS et al., 2021). Nos anos de 1970, no entanto, Eneas Salati, pesquisador brasileiro, descobriu que a biodiversidade da Amazônia também tem papel na manutenção do seu clima, e não apenas o contrário (SALATI, 1979). A floresta amazônica possui na casa de centenas de bilhões de árvores, as quais, em média, transpiram diariamente 100 galões de água em vapor, o que não apenas abaixa a temperatura do ar, como também – e aí veio a descoberta de Salati, que rastreou isótopos de oxigênio em amostras de água da chuva – alimenta os “rios voadores”, nuvens que reciclam a umidade da floresta e que são fundamentais para quase 50% da precipitação da região (MARTINELLI et al., 1995). Ou seja, das chuvas que ocorrem pela floresta amazônica, praticamente metade da água vem da evapotranspiração da própria floresta (MARTINELLI; VICTORIA; LOBO, 1995). A sua biodiversidade sustenta o seu clima, que por sua vez sustenta a sua biodiversidade (NOBRE; COSTA; SILVA, 2014).

O rio Amazonas, o maior rio de água doce do mundo, desemboca diariamente 18 bilhões de toneladas de água no mar, enquanto a evapotranspiração da floresta supera esse número e é responsável por levar 20 bilhões de toneladas de água à atmosfera, como apontado por Costa, Oliveira e Martins (2021). Ou seja, a floresta transpira mais do que seus rios desembocam – caso quiséssemos, com as nossas tecnologias, ser responsáveis por um processo desse tamanho, a energia necessária para evaporar essa quantidade de água que a

floresta gratuitamente evapora seria equivalente à de 50 mil usinas hidrelétricas de Itaipu (NASCIMENTO; OLIVEIRA; SOUZA, 2019). As consequências atmosféricas da “respiração” da Amazônia são tremendas e reverberam pela dinâmica climática da América do Sul (GATTI et al., 2022): cientistas acreditam que o “quadrilátero afortunado”, área que abrange São Paulo, Mato Grosso, Argentina e Bolívia, não é um deserto apenas devido às massas de ar úmidas que provêm dos rios voadores amazônicos, que descem da floresta até a região Sul do país (COSTA; OLIVEIRA; MARTINS, 2021). Além das chuvas, a “pulsção” da floresta amazônica também altera a dinâmica de ventos e empurra o ar sobre o oceano, impedindo a organização de furacões em território sul-americano (NOBRE, 2014). Sua importância invisível é tremenda.

Quanto à sua biologia, a floresta amazônica é um sistema extremamente complexo (SILVA; SOARES; MELO, 2020). Com mais de 2,5 milhões de espécies de insetos, dezenas de milhares de plantas e milhares de vertebrados, a Amazônia ocupa 5,5 milhões de km<sup>2</sup> (GOMES et al., 2018). O ciclo de decomposição é rápido devido à intensa atividade de fungos que transportam nutrientes para o topo do solo, permitindo que árvores tenham raízes superficiais e dependam diretamente das chuvas (MARTINELLI et al., 1995; SALATI, 1979). Contudo, essa característica torna o ecossistema vulnerável: alterações no regime de chuvas podem comprometer sua sobrevivência de forma crítica (NOBRE; COSTA; SILVA, 2014).

O conceito de “ponto de desequilíbrio” da floresta Amazônica refere-se ao limite em que a floresta não consegue mais sustentar sua ecologia (NOBRE, 2014). Nesse sentido, sabe-se que o desmatamento e o aquecimento global aumentam os períodos de seca na floresta e criam um ciclo negativo no qual menos árvores levam apenas a menos chuva, perda essa que apenas se intensifica (GOMES et al., 2018). Com 17% da floresta já desmatada, número próximos dos 20-25% estimados como ponto de desequilíbrio da floresta, a sustentabilidade da Amazônia está seriamente ameaçada (COSTA; OLIVEIRA; MARTINS, 2021; GATTI et al., 2022). Pesquisas recentes mostram que a floresta já emite mais carbono do que absorve em algumas áreas intactas (GATTI et al., 2022), sinalizando que o ponto de ruptura pode já estar silenciosamente em andamento. A destruição da Amazônia teria consequências globais, afetando chuvas no Sudeste e no Sul do Brasil, além de influenciar o clima em partes da América Central e do Norte (NASCIMENTO; OLIVEIRA; SOUZA, 2019). Sua perda seria, inegavelmente, uma catástrofe sem precedentes.

## 2.1.2 Problemáticas

Entre 1985 e 2017 o Brasil perdeu 71 milhões de hectares de vegetação natural, enquanto a área destinada a pastagens aumentou 46% e a agricultura cresceu 172% (SILVA; OLIVEIRA; SOARES, 2019). Apesar da Política Nacional sobre Mudança do Clima, implementada em 2009 para controlar emissões de gases de efeito estufa, o desmatamento voltou a crescer a partir de 2013, revertendo avanços anteriores (SOUZA; ALMEIDA, 2020).

A destruição da floresta abala o clima de duas diferentes formas: liberando o carbono, agora em forma de gás carbônico, acumulado principalmente nas árvores à atmosfera através de queimadas – forma chamada de emissão direta – e também ao afetar o poder de fotossíntese da floresta, criando um estresse climático – forma chamada de emissão indireta (NOBRE, 2014). Essa forma indireta de emissão é extremamente perigosa e não deve ser subvalorizada. O primeiro motivo é que ela é invisível e, portanto, facilmente esquecível; o segundo é que ela não trabalha de forma linear. Como mostram Gatti, Cunha e Marani (2022), um salto de 11% de desmatamento no lado oeste da floresta amazônica para 27% no lado leste não gera um aumento de quase três vezes na emissão de carbono por dia, mas sim de quase dez vezes. Calcula-se que o desmatamento de toda a floresta amazônica brasileira implica numa emissão de cerca de 77 gigatoneladas de carbono diretamente para a atmosfera e mais de 100 gigatoneladas a rios, oceanos e à própria terra novamente (NOBRE; NOBRE, 2002). Isso seria equivalente, contabilizando apenas as emissões em número, ou seja, não levando em conta as dinâmicas climáticas cumulativas que os biomas brasileiros sofreriam, a um terço da emissão de carbono pelo mundo inteiro acordada no Acordo de Paris para limitar o aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, o que demonstra o grande poder de emissão que a floresta amazônica carrega – e nessa conta nem está sendo considerada a perda de absorção de oxigênio da floresta, que também afetaria o balanço atmosférico (COSTA; LIMA, 2019).

Outro fator que impacta no relacionamento entre uso do bioma amazônico e estabilidade climática é a localização em que o bioma está sendo degenerado. O arco do desmatamento na Amazônia se concentra em seus territórios ao leste, nos quais há mais área desmatada (GATTI, 2023); isso se deve a diversos fatores, porém pode-se citar a presença de uma rede rodoviária mais complexa e também a maior proximidade com o Porto de Belém como agravadores do desmatamento. Como a massa de ar úmida que corre pela Amazônia vem do oceano, portanto corre da costa até o interior, há uma perda hidrológica local quando

essa massa de ar se encontra com uma região mais seca e que vai se estender pelo resto da cadeia atmosférica amazônica, abalada, portanto, de seu início ao seu fim (GATTI, 2023).

A problemática do desmatamento envolve um debate ainda maior pelo fato de que grande parte das terras já desmatadas no Brasil não são utilizadas; estima-se que cerca de 40 milhões de hectares de terras desmatadas no país, o equivalente ao tamanho da Alemanha, não são produtivas (SOUZA; ALMEIDA, 2020). Com foco na Amazônia, de acordo com o portal MapBiomas, mais de 20% da área total desmatada na região entre 1985 e 2020 não foi convertida para uso agrícola ou pecuário, resultando em pura degradação ambiental sem qualquer benefício econômico.

É mais benéfico investir na produtividade da terra desmatada há mais tempo (e que está abandonada de atividades econômicas, portanto sendo uma terra “esquecida”) do que na terra recém-desmatada (MULLAN; CAVIGLIA-HARRIS; SKILLS, 2023). Isso se dá principalmente porque o pousio (interrupção temporária de atividades agrícolas) contribui para o aumento natural da fertilidade do solo. Unindo esse pensamento ao fato de que no Brasil há enorme quantidade de terras já desmatadas e abandonadas, entende-se que o mau uso da terra é um grande agravador da problemática climática no país (COSTA; LIMA, 2019). Portanto, quando se fala no futuro do agronegócio e das mudanças que são necessárias para que essa atividade tão importante quanto perigosa no Brasil seja conduzida da forma mais eficiente possível, faz-se necessário levar em consideração um planejamento de reutilização da terra espalhada pelo país (MULLAN; CAVIGLIA-HARRIS; SKILLS, 2023).

A moratória da soja, implementada em 2006, ilustra como incentivos bem estruturados podem conter o desmatamento. Após o acordo, que proibia a compra de soja cultivada em áreas desmatadas na Amazônia, o desmatamento para cultivo de soja caiu de quase 30% para menos de 1% (GIBBS et al., 2015). Essa política foi cinco vezes mais eficaz que o Código Florestal brasileiro no combate ao desmatamento, evidenciando o poder da colaboração entre governo, sociedade civil e setor privado (GIBBS et al., 2015); contudo, parte do desmatamento foi deslocada para outros biomas, como o Cerrado, compensando até 50% dos ganhos obtidos (VILLORIA; GARRET; GOLLNOW, 2022).

No âmbito do Acordo de Paris, o Brasil comprometeu-se a zerar o desmatamento ilegal e restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030. Expandir o modelo da moratória da soja para outras regiões e commodities, como carne, é essencial para alinhar o agronegócio brasileiro à mitigação das mudanças climáticas e alcançar metas ambientais globais (VILLORIA; GARRET; GOLLNOW, 2022).

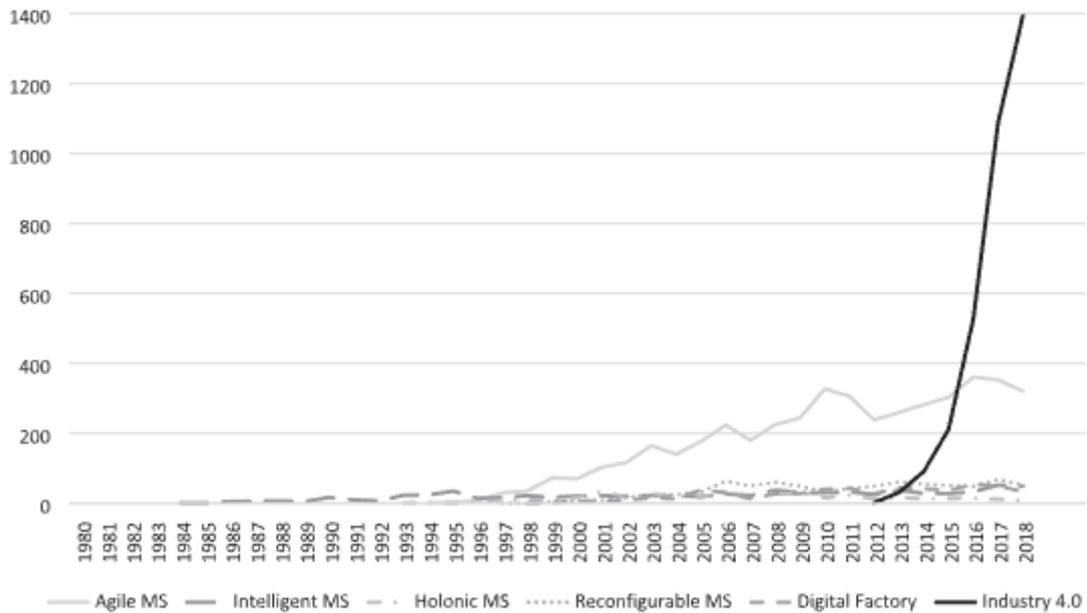
## **2.2 Panorama logístico e da cadeia de suprimentos**

### **2.2.1 Contexto**

O transporte é a área da logística responsável pelo deslocamento e posicionamento geográfico do estoque (AFONSO, 2006). Um transporte eficiente é essencial para o desenvolvimento regional, permitindo acesso, ocupação e exploração de áreas, além de gerar valor com a movimentação de bens e serviços (AFONSO, 2006). Essa atividade, entretanto, depende do nível econômico local, e sua eficiência está ligada à integração de diferentes modais – rodovias, hidrovias, ferrovias, entre outros –, o que proporciona escala e competitividade (AFONSO, 2006).

A logística, por sua vez, vai além do transporte de suprimentos, englobando o gerenciamento de fluxos de materiais e informações, gestão de armazenamento e transporte, entrega de produtos e atendimento de padrões de qualidade (OSUNA-VELARDE; SALAZAR-ECHEAGARAY; BUENO-FERNÁNDEZ, 2024). A Logística 4.0, conceito surgido em 2011, utiliza tecnologias como Inteligência Artificial, Blockchain e Big Data para criar sistemas automatizados e com acompanhamento em tempo real, reduzindo tempos de espera e auxiliando na tomada de decisão (TJAHJONO; ESPUGLUES; PELAEZ, 2021). Essa abordagem busca otimizar processos logísticos com maior transparência e confiabilidade. No futuro, a Logística 5.0 promete avanços com sistemas cognitivos e robôs altamente complexos; no entanto, a ainda implementação da Logística 4.0 já apresenta desafios complexos por conta de sua abordagem multifacetada (SORDAN; FRASER; PARKER, 2022).

O aumento exponencial no tema da Indústria 4.0 dentro das publicações científicas em vigor consta na Figura 1.



**Figura 1:** Quantidade de publicações científicas baseado em diferentes palavras-chave

**Fonte:** Winkelhaus & Grosse, 2019

Entre as tecnologias da Logística 4.0, a Internet das Coisas permite monitorar sistemas complexos em tempo real por meio de sensores e registradores de dados, fornecendo informações confiáveis e com baixa latência (ESCRIBA-GELONCH; LIANG; SCHALKWYK, 2024). Essa tecnologia, por exemplo, auxilia agricultores a monitorarem condições climáticas e umidade do solo, além de permitir que empresas rastreiem veículos e otimizem estoques (ESCRIBA-GELONCH; LIANG; SCHALKWYK, 2024). Já a Blockchain oferece um espaço descentralizado para o registro seguro e rastreável de transações, aumentando a confiabilidade dos processos e mitigando custos associados à verificação e autenticação de entregas (KASSANUK; PHASINAM, 2022).

A digitalização das cadeias de suprimentos alimentícias integra dados, tecnologias e processos, melhorando a rentabilidade e a sustentabilidade ao reduzir problemas como atrasos, subutilização de capacidade e erros humanos (DI PASQUALE; NENNI; BOYER et al., 2023). O acompanhamento automatizado em tempo real facilita o controle de qualidade, reduz desperdícios e emissões de carbono, além de otimizar o uso de combustível e melhorar a eficiência operacional. Essa digitalização também amplia a base de clientes, permitindo personalização de produtos e entregas mais flexíveis, prática comum em empresas como a Magazine Luiza e com potencial na cadeia alimentícia. Além disso, possibilita maior precisão

na previsão de demandas, reduzindo custos com estoques e diminuindo o lead-time (DI PASQUALE; NENNI; BOYER et al., 2023).

A coordenação e colaboração entre etapas e players são os principais benefícios da digitalização, promovendo redução de custos, aumento da margem e melhorias na sustentabilidade, visibilidade e satisfação do cliente (DI PASQUALE; NENNI; BOYER et al., 2023). Esses ganhos impactam positivamente toda a cadeia de suprimentos, desde a integração e os processos até a operação e distribuição (DI PASQUALE; NENNI; BOYER et al., 2023).

No entanto, desafios persistem na adoção de tecnologias avançadas, como a Blockchain, em cadeias alimentícias. Entre eles, destacam-se complexidades regulatórias, riscos de segurança, alta interconectividade das cadeias globais e diferenças de perecibilidade dos alimentos, que demandam filosofias distintas de distribuição (SOLEDISPA-CAÑARTE; PIBAQUE-PIONCE; MERCHÁN-PONCE et al., 2023; SINGH; BISWAS; BANERJEE, 2023). Além disso, altos custos de implementação e resistência a mudanças por falta de conhecimento dificultam a transição (NAGARIYA; MUKHERJEE; BARAL et al., 2022). Apesar disso, a maior rentabilidade no longo prazo e o acesso a crédito financeiro podem ajudar a mitigar esses desafios (BARAKA; MBURU; MURIITHI, 2021).

As vantagens da digitalização na cadeia de suprimentos alimentícia deixam claro que esse é o caminho ideal, especialmente diante do crescimento da demanda global por alimentos. Melhorias tecnológicas na produção e distribuição podem ser cruciais para combater a fome mundial e garantir um sistema mais sustentável e eficiente.

Os temas abordados referentes à digitalização na logística agrícola podem ser descritos na seguinte Matriz SWOT:

<i>Fatores Internos</i>	<i>Forças</i>	<i>Fraquezas</i>
	Operação com muito menos necessidade de supervisão	Altos investimentos necessários
	Otimização de recursos	Resistência à mudanças por parte dos <i>players</i>
	Monitoramento contínuo	
	Comunicação entre <i>players</i> melhorada	
<i>Fatores Externos</i>	<i>Oportunidades</i>	<i>Ameaças</i>
	Necessidade global por melhorias no agronegócio	Complexidades regulatórias
	Customização da demanda	

**Figura 2:** Matriz SWOT sobre a digitalização na logística agrícola

**Fonte:** Autoria própria

## 2.2.2 Logística do agronegócio brasileiro

Compreendendo a importância da digitalização na cadeia de suprimentos do agronegócio, é relevante analisar o contexto brasileiro de logística, suas problemáticas e perspectivas futuras. Historicamente, o Brasil investiu pouco em infraestrutura ferroviária, diferentemente de potências globais e até países como o México (MÜLLER; PEREIRA, 2014). Segundo a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF), o desenvolvimento ferroviário brasileiro sempre dependeu das políticas governamentais, variando ao longo do tempo. Deakin (2001) observa que o investimento público insuficiente em infraestrutura tem sido um padrão em países em desenvolvimento, impactando o crescimento econômico.

No século XIX, o sistema ferroviário brasileiro evoluiu lentamente sob empresas privadas e no século XX as ferrovias foram nacionalizadas na Era Vargas, passando à Rede Ferroviária Federal S.A. Baixos investimentos levaram, nos anos 1990, à concessão de malhas ao setor privado, modelo que sustenta o setor atualmente (SOUZA; ANDRADE, 2022). Fleury et al. (2003) destacam que a dependência do modal rodoviário compromete a eficiência do transporte, agravada pela falta de investimento em alternativas mais eficientes.

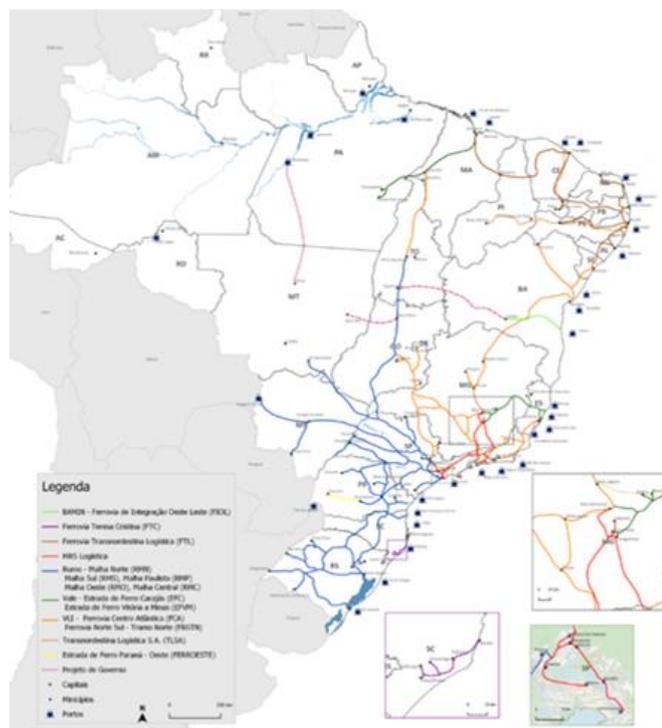
O modal rodoviário domina o escoamento da produção agrícola do Centro-Oeste para os portos do Sul e Sudeste, com 67% do transporte de grãos, enquanto ferrovias respondem por 28% e hidrovias apenas 5% (CORREA; RAMOS, 2010). Isso é inadequado às

características dos produtos transportados, como seu baixo valor agregado e grandes volumes, que exigem modais de maior capacidade e menor custo, como ferroviário e hidroviário (AFONSO, 2006). Além disso, as estradas brasileiras sofrem com infraestrutura precária: 55% das rodovias pavimentadas estão em más condições, e a distância média percorrida é de 800 km, superando o limite ideal de 300 km para transporte rodoviário eficiente (AFONSO, 2006).

Os modais ferroviário e hidroviário oferecem maior eficiência energética e menor custo operacional em longas distâncias. O transporte ferroviário consome quatro vezes menos combustível que o rodoviário para o mesmo volume de carga, e o hidroviário, metade do ferroviário, embora dependa de rios adequados (RODRIGUES; LIMA, 2015). Apesar disso, a falta de infraestrutura suficiente torna essas opções caras ou inviáveis, forçando produtores a dependerem do modal rodoviário, o que afeta negativamente a competitividade brasileira no mercado internacional. Barros e Silva (2012) apontam que "os custos logísticos internos comprometem cerca de 25% da receita de vendas de soja, evidenciando as deficiências no transporte".

Essas deficiências geram dois tipos de custos: os associados à inadequação do modal rodoviário às características dos produtos e os decorrentes da má qualidade das estradas, que causam lentidão e perdas (CORREA; RAMOS, 2010). A falta de infraestrutura ferroviária e hidroviária amplia os gargalos, tornando esses modais insuficientes para atender à demanda e, consequentemente, mais caros para os produtores (CORREA; RAMOS, 2010).

Abaixo, na Figura 3, consta a malha ferroviária brasileira, onde podemos notar a pequena abrangência às regiões no Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil.



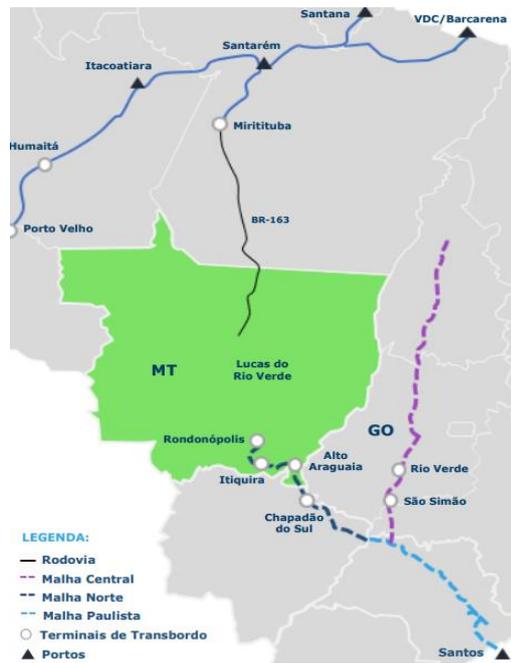
**Figura 3:** Malha Ferroviária Brasileira

**Fonte:** Associação Nacional dos Transportes Ferroviários (ANTF)

Uma significativa porção da produção agrícola do Mato Grosso vem de regiões afastadas das malhas ferroviárias e cujo transporte até elas deve ser feito de caminhão. Nesse contexto, uma fatia de produtores da região, localizados mais ao norte e, portanto, longe das linhas ferroviárias, obtém mais vantagens econômicas em levar seus produtos a portos do Norte do país via transporte rodoviário e então hidroviário do que para a região Sudeste, via transporte rodoviário e então ferroviário (SILVA; SOUZA; LIMA, 2020).

Projetos de infraestrutura visam expandir a malha ferroviária brasileira, tanto para o interior do Mato Grosso através da já em andamento expansão da Malha Norte – realizada pela empresa Rumo e com o primeiro trecho, que conectará Rondonópolis a Campo Verde, com início de operações em 2026 e o trabalho todo a ser concluído em 2030 – quanto pelo projeto da Ferrogrão, ferrovia que formaria um novo corredor ferroviário no Brasil através da Bacia Amazônica e cujo projeto consta como suspenso pelo STF.

Tais projetos, evidenciados pelas Figuras 4, 5 e 6, compõem importantes adições ao contexto logístico brasileiro, pois permitiriam uma quantidade de grãos e outras commodities ainda maior ser escoada e, portanto, não desperdiçada (SOUZA; ALMEIDA, 2021).



**Figura 4:** Malha Ferroviária Brasileira no Mato Grosso

**Fonte:** Rumo Relações com Investidores



**Figura 5:** Expansão da Malha Ferroviária Brasileira no Mato Grosso

Fonte: Rumo Relações com Investidores



Figura 6: Ferrogrão: Projeto em Discussão

Fonte: Valor Econômico, <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/12/08/governo-poe-ate-r-22-bi-na-ferrograo-para-reduzir-risco.ghtml>

A armazenagem é um tema crucial no agronegócio brasileiro, dado que a infraestrutura logística existente não suporta a quantidade de grãos produzidos anualmente. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), a capacidade nacional de armazenagem cobre apenas cerca de 65% da produção, forçando muitos produtores a armazenarem grãos em condições inadequadas, o que eleva o risco de perdas em qualidade e volume.

Investimentos em tecnologia, como silos avançados com controle automatizado de temperatura e umidade, podem reduzir significativamente essas perdas. Rocha et al. (2020) destacam que sistemas de monitoramento integrados melhoram a eficiência e minimizam o desperdício, enquanto silos automatizados preservam grãos por mais tempo e reduzem prejuízos financeiros (OLIVEIRA; SANTOS, 2019). Além disso, esses avanços contribuem para a sustentabilidade, diminuindo emissões associadas ao desperdício de grãos.

A lacuna na infraestrutura de armazenagem tem impactos econômicos e ambientais. Lopes e Almeida (2021) estimam que 10% da produção de grãos no Brasil é perdida devido a falhas na armazenagem, resultando em prejuízos bilionários e desperdício de recursos como água, energia e insumos agrícolas. Esses dados reforçam a urgência de investimentos públicos e privados para ampliar a eficiência logística, fortalecer a competitividade do agronegócio e promover maior sustentabilidade (LOPES; ALMEIDA, 2021).

### **2.3 Panorama de inovações no agronegócio**

Por mais que a agricultura venha colhendo os benefícios da digitalização e automação, ela ainda encara desafios relacionados à sustentabilidade e produtividade, principalmente relacionados ao aumento da poluição, da degradação de ecossistemas e do crescimento populacional (POPESCU; POPESCU; KHONDER et al., 2022). Nesse contexto, é claro que novas tecnologias como sensores, máquinas automáticas e bases de dados digitais – que refletem os avanços nas tecnologias da Internet of Things (IoT), Blockchain e Inteligência Artificial – são importantes ao incremento do agronegócio, porém também se mostram essenciais soluções biológicas à agricultura (POPESCU; POPESCU; KHONDER et al., 2022).

Como sugerido por Montanerella e Panagos (2021) e por Fielke et al. (2020), práticas biológicas inovadoras no agronegócio, combinadas com novas tecnologias, não apenas melhoram a condição do solo e a saúde das plantas, como também podem até incrementar a produção a ponto de causar excedentes ao fazendeiro. Tal oferta de novas tecnologias vem se amplificando na economia mundial: de aplicativos celulares de gerenciamento de plantios e colheitas a tratores de condução automática, drones e robôs agrícolas, já existe um mercado de startups agrícolas desenvolvendo tecnologias inteligentes para os fazendeiros (PAUSCHINGER; KLAUSER, 2021). No entanto, a implementação de novas tecnologias não é fácil para muitos – com foco nos pequenos fazendeiros – devido a barreiras de custo, treinamento e falta de incentivos, além do fato de que desenvolver soluções biológicas sustentáveis é um processo complexo por conta de condições climáticas e do solo próprias a cada lugar, não sendo algo uniforme (KHONDKER et al., 2021).

Dessa forma, entremos em mais detalhes nas soluções biológicas ao agronegócio, também chamadas de biotecnologia; ela consiste na manipulação de insumos naturais e não danosos ao meio ambiente de forma a criar um produto tecnológico que gere valor à

sociedade (STEVENSON et al., 2018). Dois são os pontos de enorme potencial biotecnológico no agronegócio brasileiro: as agroflorestas e os fertilizantes naturais.

A agroecologia, conceito interdisciplinar que combina ciências naturais e sociais, responde às crescentes demandas ambientais e sociais no mundo. Essa abordagem estuda o agronegócio de forma integrada, enfatizando bases ecológicas para sistemas agrícolas (GALT; PINZÓN; CORONIL et al., 2024). Sob essa perspectiva, as agroflorestas emergem como sistemas que replicam a dinâmica florestal, promovendo ciclos ecológicos e sucessão natural de vida (MONTAGNINI; NAIR, 2004). Ao combinar plantações agrícolas com vegetação rica e biodiversa, as agroflorestas conservam o solo, reduzem a erosão, aumentam a disponibilidade de água e promovem a biodiversidade dos sistemas produtivos. Assim, representam uma alternativa sustentável para a recuperação de áreas degradadas, melhorando propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (KARMINI et al., 2017).

Diferentemente da monocultura em larga escala, as agroflorestas utilizam o policultivo, aproveitando as interações entre diferentes espécies de plantas para gerar sistemas produtivos ambientalmente benéficos e replicáveis em grande escala (JOSE, 2009). Estudos como o de Akoto et al. (2017), que analisaram consórcios de bambu com milho, feijão e mandioca, demonstraram benefícios econômicos superiores ao modelo de monocultura. Resultados semelhantes foram encontrados por Karmini et al. (2017) na Indonésia, que destacaram também os impactos sociais e ecológicos positivos, incluindo maior geração de empregos. No Brasil, Lucena et al. (2023) observaram que o consórcio de mogno africano com milho, mandioca e feijão no Cerrado apresentou maior eficiência econômica e ambiental, compensando os custos mais altos com maiores vendas dos produtos colhidos.

Paralelamente, a indústria de fertilizantes tem vivenciado uma transição significativa em direção à sustentabilidade, com o crescente uso de biofertilizantes. Esses compostos, provenientes de fontes biológicas como esterco e restos vegetais, promovem ciclos naturais de nutrientes, aumentando a biodiversidade e a fertilidade do solo sem os impactos negativos dos fertilizantes químicos (SCOTTI et al., 2015). Estudos recentes demonstram os benefícios desses insumos. Huang et al. (2022) evidenciaram que biofertilizantes aumentam a diversidade microbiana do solo, enquanto Sui et al. (2022) verificaram melhorias significativas em solos de baixa fertilidade utilizando biofertilizantes à base de ácido húmico.

Além de aumentar a produção, os biofertilizantes contribuem para a sustentabilidade ao reduzir o impacto ambiental do uso de fertilizantes químicos. Isso é especialmente relevante para o Brasil, quarto maior consumidor global de fertilizantes, atrás de China, Índia

e Estados Unidos, mas com uma taxa de crescimento mais acelerada (SCOTTI et al., 2015). Nesse contexto, o país desempenha um papel estratégico na transição para práticas agrícolas mais sustentáveis, consolidando-se como um dos pilares dessa mudança global.

### 3 Metodologia

Nesta seção é desenvolvida a metodologia do trabalho, de modo a instruir o leitor sobre como a revisão sistemática da literatura foi conduzida e sobre os processos de análise quantitativa e qualitativa que a seguiram, assim como apontar para a confecção, como resultado das análises, de uma taxonomia, de um framework e de uma agenda de pesquisas futuras.

Uma revisão sistemática da literatura científica foi a base para este trabalho, assim como apresentado por Thomé et al. (2016) e adaptado das cinco etapas apresentadas por Caiado et al. (2024). A pesquisa foi realizada seguindo as etapas: (1) formulação das perguntas de pesquisa, (2) localização dos estudos, (3) seleção e avaliação dos estudos, (4) análise e síntese dos artigos selecionados e (5) apresentação dos resultados.

Foi realizado, através das bases de dados da SCOPUS e da Web of Science, ambas escolhidas devido aos seus grandes acervos, fundamentação sólida e confiabilidade, uma busca por publicações acadêmicas que tratassem do tema deste trabalho. Através das palavras chaves “agro”, “supply chain”, “logistics”, “industry 4.0”, “digital”, “sustainability”, “environment management” e “ecology”, resultando em uma seleção inicial de 115 artigos a partir dessas duas bases de dados. A Tabela 1 contém os termos de busca utilizados nas bases de dados do trabalho.

Database	Keywords
Scopus	( TITLE-ABS-KEY ( "agro*" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "supply chain" OR "SCM" OR "logistics" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "industry 4.0" OR "digital*" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "sustainab*" OR "green" OR "environment management" OR "ecology" ) )
WoS	TS=("agro*" AND ("supply chain" OR "SCM" OR "logistics")) AND ("industry 4.0" OR "digital*") AND ("sustainab*" OR "green" OR "environment management" OR "ecology"))

**Tabela 1** – Termos de Busca Utilizados nas Bases *Scopus* e *Web of Science*.

**Fonte:** Autoria Própria

A pesquisa também incluiu fontes secundárias, como o livro Arrabalde: Em busca da Amazônia (SALLES, 2022), Colapso: Como as Sociedades Escolhem o Fracasso ou o Sucesso (DIAMOND, 2005), além de entrevistas com especialistas de instituições brasileiras,

como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Documentos adicionais, como a Carta Dynamo 112: O Tempo do Clima, foram considerados, ampliando a compreensão sobre a ciência climática e os desafios ambientais específicos do Brasil. A inclusão dessas fontes exógenas e não indexadas (fontes cinzentas) se justifica pela relevância e especificidade de seus conteúdos para o contexto amazônico e o escopo ambiental do estudo (SINGH et al., 2023). Foram filtrados mais 39 documentos adicionais, referente às fontes cinzentas, aos 115 artigos inicialmente obtidos, totalizando uma amostra composta por 154 fontes.

Para garantir rigor metodológico e transparência no processo de revisão, foram estabelecidos critérios específicos de inclusão e exclusão dos artigos, assim como evidenciado na Tabela 2. Foram incluídos artigos publicados em português ou inglês, disponíveis em periódicos acadêmicos. Como critérios de exclusão, descartaram-se os documentos com relação vaga ao tema do estudo, sem acesso integral ao texto ou redigidos em língua que não o português ou o inglês. Este processo buscou assegurar que o escopo fosse suficientemente amplo para capturar as principais tendências, mas também focado em estudos de mais alta relevância para os objetivos do trabalho (FACIN et al., 2022).

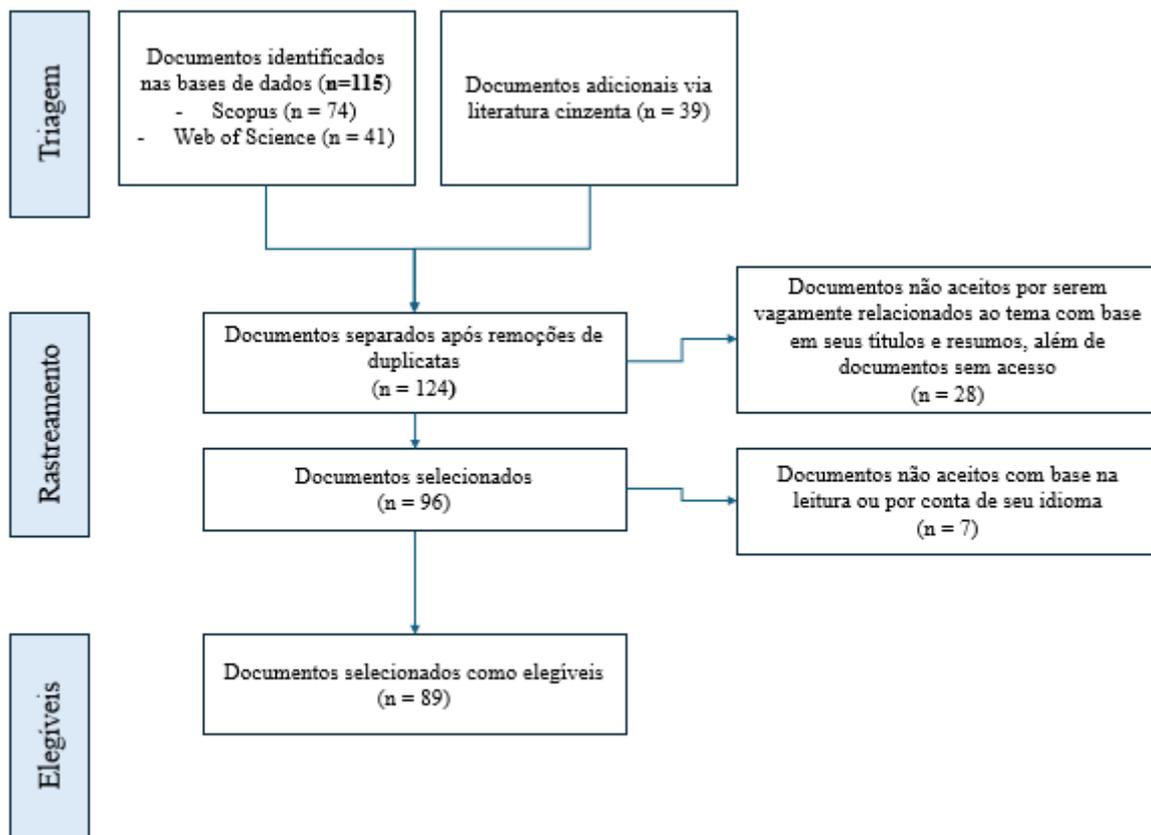
Critérios de Exclusão	Se excluam os trabalhos que (1) careciam de síntese, (2) o acesso estava impossibilitado ou (3) que não estavam redigidos na língua inglesa ou portuguesa.
Critérios de Inclusão	Foram selecionadas pesquisas que (1) possuíam boa síntese ao longo do trabalho e (2) eram redigidas ou em língua inglesa ou em língua portuguesa

**Tabela 2** – Critérios de Inclusão/Exclusão

**Fonte:** Autoria Própria

Com base nesses critérios, a condução do trabalho prosseguiu para a leitura e análise de uma quantidade dentre os artigos elegíveis, quantidade essa atribuída à proximidade do trabalho com os temas aqui abordados.

Utilizou-se o diagrama PRISMA, como evidenciado pela Figura 7, para ilustrar o processo de identificação, rastreamento e elegibilidade da amostra, de modo a filtrar os artigos mais interessantes quanto ao trabalho da amostra.



**Figura 7:** Fluxograma PRISMA

**Fonte:** Autoria Própria

A amostra utilizada no pacote Bibliometrix do software R para executar as análises bibliométricas de acordo com o passo a passo proposto por Aria e Cuccurullo (2017) foram as amostras exportadas das bases de dados da Scopus e Web of Science.

Foram realizadas diferentes técnicas de análise bibliométrica neste trabalho, cada qual com um objetivo: a análise da quantidade de produção científica e das palavras-chaves permitiu identificar a evolução temporal da produção científica e da relevância de determinados temas ao longo do tempo; a análise temática baseada nas conexões entre palavras-chaves permitiu a categorização dos temas em quadrantes de acordo com suas propriedades de centralidade e densidade, identificando assim temas emergentes e básicos e facilitando a compreensão da maturidade e relevância dos tópicos estudados; a análise evolutiva dos temas examinou como as discussões alvo deste trabalho têm se desenvolvido ao longo do tempo, identificando a transição e o crescimento dos tópicos de foco; por fim, a

análise fatorial identificou os agrupamento de temas e suas relações, reduzindo a complexidade dos dados e identificando informações principais na amostra de dados.

A seguir, a análise qualitativa de conteúdo foi feita através de tabelas que uniam os focos e os objetivos de pesquisa dos artigos, obtidos através das bases da Scopus e Web of Science, estudados. Focando nos eixos temáticos, a análise de conteúdo buscou identificar e categorizar as abordagens e discussões principais de cada estudo, mapeando assim tendências, identificando possíveis lacunas e evidenciando o papel de cada artigo.

Como última etapa metodológica foi construída uma taxonomia, um framework e uma tabela com perguntas de pesquisas a partir das análises realizadas. A taxonomia engloba os temas centrais dos artigos das bases de dados utilizados, de modo a organizar tais estudos de acordo com seus campos de atuação específicos. A partir dos conhecimentos gerados no trabalho, o framework trabalha a interseção dos temas principais aqui perseguidos, disponibilizando uma arquitetura visual para o leitor. Por último, a agenda de pesquisa aponta oportunidades identificadas através das leituras para ampliar as discussões abordadas em um contexto futuro.

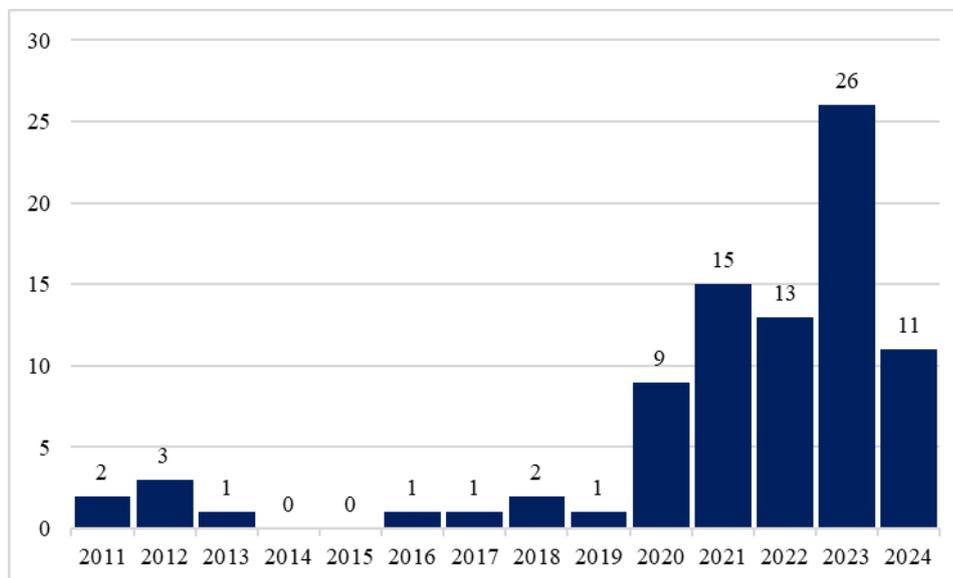
## 4 Resultados

### 4.1 Análise descritiva

A análise descritiva, baseada em gráficos bibliométricos, foi conduzida para oferecer uma visão quantitativa dos artigos selecionados, destacando padrões e tendências no campo de pesquisa. Essa abordagem quantitativa complementa a análise de conteúdo qualitativa, proporcionando uma base estatística para validar as tendências observadas e embasar discussões futuras sobre o desenvolvimento da pesquisa nos três macro tópicos principais deste trabalho.

#### 4.1.1 Publicações por ano

A produção científica apresentou um crescimento significativo na última década, como aponta a Figura 8 abaixo.



**Figura 8:** Produção Científica Anual

**Fonte:** Bibliometrix

Por mais que já houvessem sido publicados alguns trabalhos entre 2011 e 2019, fica evidente o aumento percentual expressivo da quantidade de trabalhos a partir de 2020. Uma hipótese é de que uma motivação ao aumento da pesquisa foi a própria mudança climática na recente década. Cabe pontuar que a queda no ano de 2024 pode ser explicada pelo fato de que os dados foram extraídos em agosto do ano corrente, portanto restando ainda quatro meses para o fim do ano.

#### 4.1.2 Histórico das palavras-chave

Como evidenciado pela Figura 9, observa-se que a maioria dos temas, como desenvolvimento sustentável, gestão da cadeia de suprimentos, agroindústria e agricultura, começou a ganhar relevância a partir de 2020 e, desde então, vem crescendo consistentemente. Temas como digitalização e sustentabilidade também surgem com maior força nos últimos anos, refletindo o interesse crescente nas tecnologias digitais e em práticas agrícolas mais eficientes.

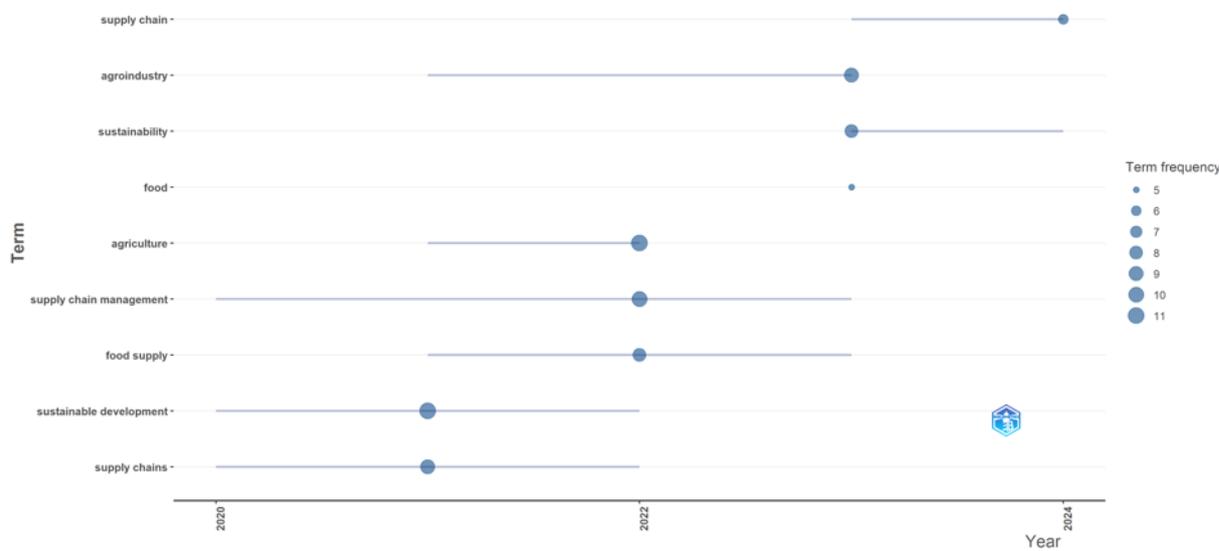
Year	Agriculture	Sustainable Development	Supply Chain Management	Agroindustry	Supply Chains	Food Supply	Sustainability	Digitalization	Supply Chain	Food
2011	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0
2018	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0
2019	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0
2020	2	5	3	2	3	2	1	2	0	0
2021	5	6	4	4	5	3	1	3	0	1
2022	8	9	5	4	7	4	2	3	0	1
2023	10	11	9	8	9	7	5	5	3	5
2024	11	11	10	9	9	8	8	6	6	5

**Figura 9:** Principais Palavras-Chave

**Fonte:** Bibliometrix

O gráfico de palavras-chave apontado na Figura 10 também destaca a importância contínua de temas como cadeia de suprimentos, agricultura e alimentos, que permanecem como foco de discussão nos últimos anos. No entanto, tópicos como sustentabilidade, tecnologias digitais e agricultura de precisão estão emergindo com força, mostrando um aumento significativo na sua relevância nas pesquisas recentes. Essas tendências revelam a

direção das discussões no campo, com ênfase na inovação tecnológica e na eficiência sustentável na gestão de recursos agrícolas.



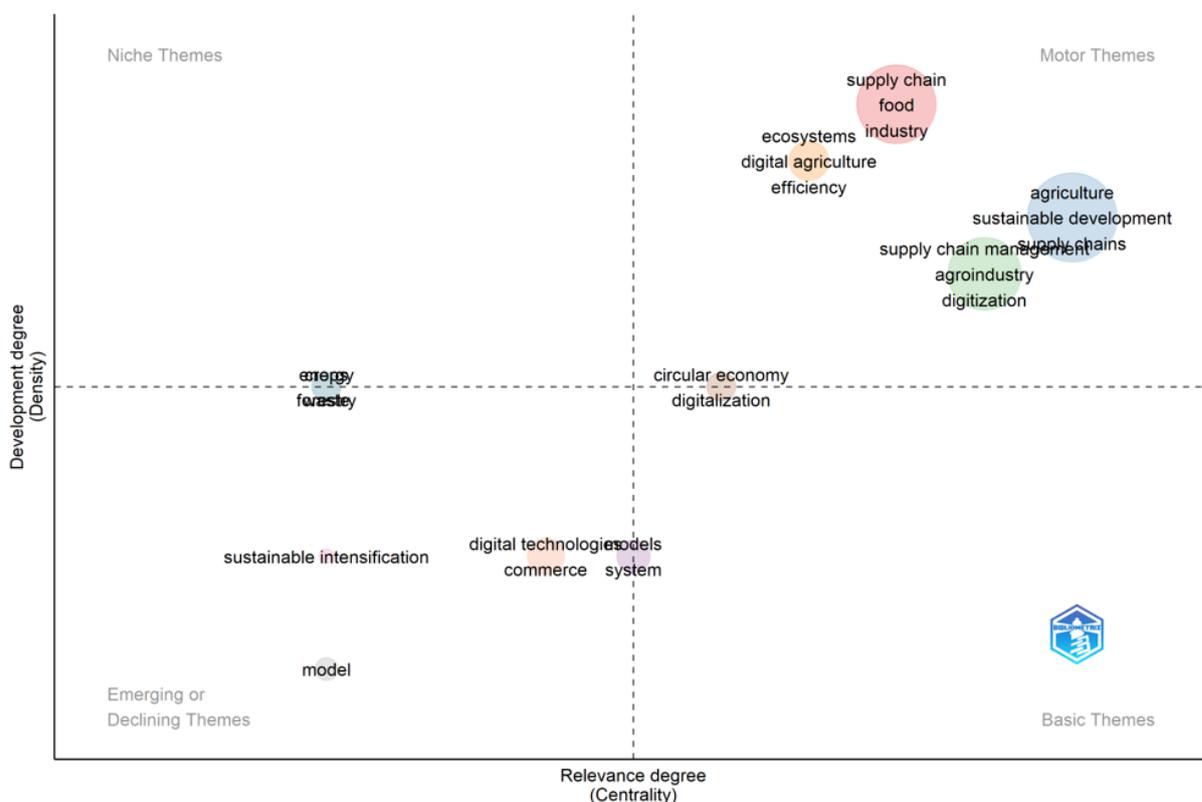
**Figura 10:** Temas em Destaque

Fonte: Bibliometrix

### 4.1.3 Análise temática

A análise temática, assim como evidenciado na Figura 11, revelou uma segmentação dos tópicos em quatro quadrantes principais. No Quadrante 1 (Q1), estão os temas nicho, como "energia" e "floresta", que apresentam menor centralidade e densidade, indicando uma menor conexão com os debates centrais do campo agrícola. No Quadrante 2 (Q2), aparecem os temas motores, como "cadeia de suprimentos", "indústria", "ecossistemas" e "eficiência". Esses temas são amplamente desenvolvidos e considerados essenciais para o avanço do setor, evidenciando o papel central da cadeia de suprimentos alimentar e da agricultura sustentável. No Quadrante 3 (Q3), identificam-se os temas emergentes ou em declínio, como "intensificação sustentável" e "modelos digitais", que começam a ganhar relevância, mas ainda carecem de maior desenvolvimento. Finalmente, no Quadrante 4 (Q4), os temas básicos, com tópicos como "economia circular" e "digitalização", fundamentais para o campo

e com grande centralidade, funcionando como pilares estruturais da pesquisa agrícola. A distribuição geral revela uma forte interconexão entre digitalização e sustentabilidade, destacando temas como "agricultura digital", "eficiência" e "gestão da cadeia de suprimentos" como pilares fundamentais. A presença de termos emergentes como "intensificação sustentável" e "sistemas de comércio digital" aponta para uma tendência de transformação do setor agrícola, moldada pela convergência entre sustentabilidade, tecnologia e eficiência operacional.



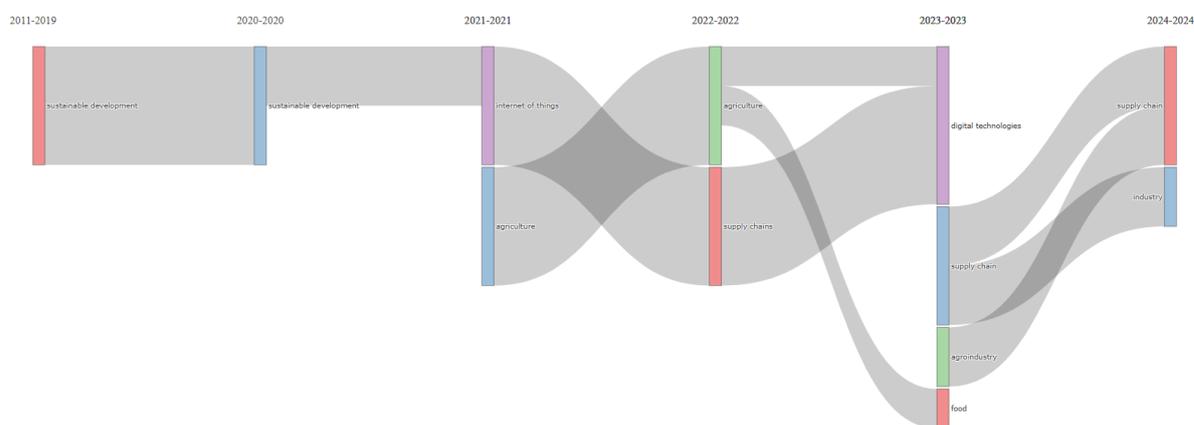
**Figura 11:** Mapa Temático de Palavras-Chave

**Fonte:** Bibliometrix

A análise evolutiva dos temas, conforme mostrado no diagrama de fluxo Sankey da Figura 12, revela mudanças significativas no foco das pesquisas entre 2011 e 2024. Entre 2011 e 2019, o desenvolvimento sustentável foi o tema predominante, indicando uma forte ênfase na sustentabilidade. No período de 2020 a 2021, o desenvolvimento sustentável manteve sua relevância, mas novas áreas, como internet das coisas e agricultura, começaram a ganhar destaque, representando cerca de 30% do fluxo temático e marcando o início da integração tecnológica no campo. Em 2022, o interesse se diversifica para três vertentes

principais: agricultura (25%), cadeias de suprimentos (25%) e agroindústria (20%), com uma ramificação adicional para o setor alimentício (15%). Nos anos mais recentes, 2023 e 2024, ocorre uma consolidação em torno de três temas principais – cadeias de suprimentos (35%), tecnologias digitais (30%) e indústria (25%) – indicando uma crescente preocupação com a inovação tecnológica e a otimização da produção agrícola e alimentar.

Essa evolução demonstra uma transição contínua do foco exclusivo em sustentabilidade para uma abordagem integrada, onde tecnologia e eficiência também são priorizadas. Qualitativamente, observa-se uma transformação do setor agrícola, com ênfase na digitalização e na gestão da cadeia de suprimentos, refletindo uma tendência de modernização e integração tecnológica no setor agroalimentar.



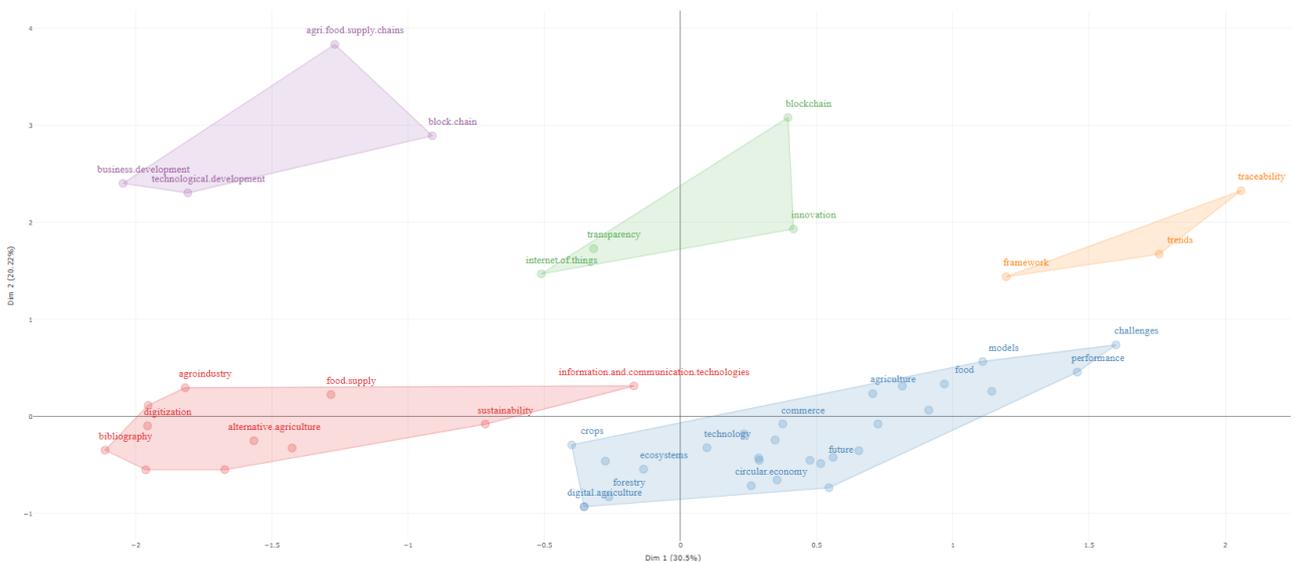
**Figura 12:** Mapa Temático Evolutivo

**Fonte:** Bibliometrix

#### 4.1.4 Análise fatorial

A análise fatorial, como evidencia a Figura 13, identificou cinco agrupamentos principais. O grupo em verde, situado no centro superior do mapa, abrange termos como "blockchain", "innovation" e "transparency", indicando o foco em tecnologias disruptivas e transparência na cadeia de suprimentos. O cluster vermelho, localizado na parte inferior esquerda, inclui "agroindustry", "sustainability" e "alternative agriculture", enfatizando a integração de práticas agrícolas alternativas e sustentáveis, com destaque para a digitalização. O agrupamento azul, à direita, relaciona-se a "agriculture", "circular economy" e

"ecosystems", refletindo uma abordagem mais ampla sobre sistemas agrícolas, comércio e economia circular. O grupo roxo, na parte superior central, destaca "technological development", "business development" e "agri-food supply chains", evidenciando o papel do avanço tecnológico no fortalecimento das cadeias agroalimentares. Finalmente, o cluster laranja, na extremidade superior direita, foca em "traceability" e "framework", reforçando a importância da rastreabilidade e estruturação de sistemas para garantir a eficiência e confiabilidade. Juntos, esses agrupamentos revelam a centralidade da inovação tecnológica, sustentabilidade e gestão eficiente como os pilares para o futuro da agricultura.



**Figura 13:** Mapa Fatorial

Fonte: Bibliometrix

## 4.2 Análise de conteúdo

A análise qualitativa de conteúdo buscou entender, baseado nos três macro tópicos deste trabalho, o foco e os objetivos de pesquisa dos artigos lidos dentre a amostra das bases de dados. Utilizando eixos temáticos, a análise busca identificar e categorizar as abordagens e discussões principais de cada estudo, mapeando assim tendências, identificando possíveis lacunas e evidenciando o papel de cada artigo.

### 4.2.1 Sustentabilidade e impacto ambiental

Foi desenvolvida a Tabela 3 como síntese de trabalhos estudados com foco principal no âmbito da sustentabilidade como um todo ou impacto ambiental do agronegócio brasileiro nos biomas do país.

Foco de Pesquisa	Referência ABNT	Objetivo de Pesquisa
Restauração Ecológica	ARAÚJO et al., 2024	Avaliar o impacto de práticas de restauração na microbiota do solo em áreas de desertificação.
Bioeconomia	BACKHOUSE; LORENZEN, 2021	Examinar como a bioeconomia afeta as relações de terra e produção no setor sucroenergético brasileiro.
Desenvolvimento Sustentável	CHUAN et al., 2024	Explorar tendências de desenvolvimento sustentável no uso de recursos agrícolas e ambientais.
Agroecologia	CORREIA et al., 2024	Identificar iniciativas sustentáveis na transição Amazônia-Cerrado e promover o desenvolvimento sustentável.
Conversão Florestal	CSILLIK et al., 2024	Medir perdas de carbono atribuídas a distúrbios antropogênicos e naturais no Arco de Desmatamento da Amazônia.
Indústria 4.0 e Sustentabilidade	HRUSTEK, 2020	Analisar a sustentabilidade econômica, ambiental e social no setor agrícola por meio da transformação digital.
Agroecologia	LUCENA et al., 2024	Avaliar o crescimento e o retorno econômico do sistema Taungya em áreas degradadas.
Economia Circular	MONCLARO et al., 2024	Explorar o papel da diversidade microbiana na valorização da biomassa para uma economia circular sustentável.
Agricultura Sustentável	MULLAN et al., 2021	Estudar a sustentabilidade da produção agrícola em áreas desmatadas na Amazônia brasileira.
Conversão Florestal	SANTOS et al., 2024	Avaliar o desmatamento e suas correlações com emissões de CO <sub>2</sub> e aumento de temperatura na Amazônia.

Conversão Florestal	SILVA et al., 2024	Investigar os impactos da conversão de florestas em sistemas agrícolas nas emissões de CO <sub>2</sub> e no carbono do solo.
Uso da Terra	SOUZA JR. et al., 2020	Reconstruir três décadas de mudanças de uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros com imagens Landsat.
Indústria 4.0 e Sustentabilidade	YAP; AL-MUTAIRI, 2024	Avaliar a relação entre Indústria 4.0 e agroecossistema para a sustentabilidade no setor agroalimentar.
Restauração Ecológica	HERNANDEZ et al., 2024	Analisar fatores ecológicos e socioeconômicos que influenciam o sucesso da restauração de ecossistemas.

**Tabela 3:** Focos e Objetivos de Pesquisa

**Fonte:** Autoria Própria

Araujo et al. (2024) investigam o impacto da restauração ecológica na microbiota do solo em áreas desertificadas do semiárido brasileiro, demonstrando que a revegetação e o manejo sustentável promovem a retenção de umidade, aumentam a fertilidade e recuperam serviços ecossistêmicos essenciais. Complementarmente, Mullan et al. (2021) avaliam práticas agrícolas conservacionistas, como o plantio direto, que reduzem a erosão e a degradação ambiental.

Em sua análise sobre desenvolvimento sustentável, Chuan et al. (2024) discutem o uso de inovações tecnológicas, como a agricultura de precisão, para otimizar o uso de recursos e reduzir o impacto ambiental. Monclaro et al. (2024) ampliam essa discussão, destacando a economia circular com biotecnologia para transformar resíduos agrícolas em biofertilizantes e biocombustíveis, promovendo uma cadeia produtiva mais sustentável.

Correia et al. (2024) exploram práticas agroecológicas na transição Amazônia-Cerrado, mostrando como a rotação de culturas e os sistemas agroflorestais fortalecem a economia local, aumentam a resiliência climática e preservam a biodiversidade. Lucena et al. (2024) também enfatizam a agroecologia, propondo o sistema Taungya, que combina cultivo de árvores e agricultura, como estratégia para recuperação ambiental e geração de renda para comunidades locais.

Na Amazônia, Csillik et al. (2024) e Santos et al. (2024) analisam o impacto do desmatamento na dinâmica do carbono, destacando as emissões de CO<sub>2</sub> e o aquecimento local como consequências diretas das mudanças no uso da terra. SILVA et al. (2024)

complementam essas descobertas, mostrando que a conversão de florestas para áreas agrícolas reduz a capacidade de sequestro de carbono, aumentando a vulnerabilidade ambiental. Souza Jr. et al. (2020), por sua vez, documentam três décadas de mudanças no uso da terra nos biomas brasileiros, evidenciando o impacto da expansão agrícola sobre a biodiversidade e a fragmentação de habitats naturais.

No campo da Indústria 4.0, Hrustek (2020) e Yap e Al-Mutairi (2024) abordam a contribuição da transformação digital para a sustentabilidade agrícola. HRUSTEK destaca os ganhos econômicos, sociais e ambientais, enquanto YAP e AL-MUTAIRI exploram o potencial da tecnologia avançada para tornar a agricultura mais resiliente e sustentável frente às mudanças climáticas.

Hernandez et al. (2024) também acrescentam uma perspectiva ecológica e social à amostra, enfatizando a importância da participação comunitária e do apoio governamental para o sucesso sustentável dos projetos de restauração de ecossistemas.

#### 4.2.2 Logística e infraestrutura no agronegócio

Foi desenvolvida a Tabela 4 como síntese de trabalhos estudados com foco principal no âmbito da logística e infraestrutura.

Foco de Pesquisa	Referência ABNT	Objetivo de Pesquisa
Cadeia de Suprimentos	BARAKA et al., 2019	Estudar o impacto de custos transacionais e participação de mercado na lucratividade dos pequenos agricultores.
Lean 4.0	BONAMIGO et al., 2024	Propor uma agenda para a eficiência no uso de recursos em serviços agroindustriais com base no Lean 4.0.
Infraestrutura	BROWN, 2018	Examinar a integração de sistemas infraestruturais para melhorar a sustentabilidade.
Logística 4.0	OSUNA-VELARDE et al., 2024	Avaliar a integração de Logística 4.0 e agronegócio para cadeias de suprimentos sustentáveis.

Logística 4.0	SOLEDISPA- CAÑARTE et al., 2023	Analisar o papel da Logística 4.0 na sustentabilidade e competitividade no setor agroindustrial.
Cadeia de Suprimentos	WANG et al., 2024	Analisar o impacto de tecnologias digitais na sustentabilidade de cadeias agroalimentares transfronteiriças.
Cadeia de Suprimentos	YADAV et al., 2022	Revisar os desafios e medição de desempenho em cadeias de suprimentos agroalimentares.
Financiamento Agrícola	YI et al., 2021	Analisar estratégias de financiamento para agricultores com restrição de capital em cadeias de suprimento.

**Tabela 4:** Focos e Objetivos de Pesquisa

**Fonte:** Autoria Própria

Baraka et al. (2019) analisam, no campo da lucratividade e competitividade no agronegócio, como os custos transacionais e a participação de mercado impactam a lucratividade de pequenos agricultores. Eles propõem estratégias para reduzir esses custos e, assim, aumentar a competitividade dos produtores no mercado global. Bonamigo et al. (2024) complementam essa perspectiva ao propor o uso do Lean 4.0 em serviços agroindustriais, destacando a importância de eliminar processos sem valor agregado e promover a eficiência no uso de recursos. Essa abordagem fortalece cadeias produtivas mais sustentáveis e integradas.

No que diz respeito à infraestrutura e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos, Brown (2018) explora como uma infraestrutura integrada em transporte e armazenamento pode reduzir custos operacionais e impactos ambientais, fornecendo uma base robusta para a implementação de práticas sustentáveis. Em consonância, Osuna-Velarde et al. (2024) e Soledispa-Cañarte et al. (2023) investigam a Logística 4.0 no agronegócio, destacando o papel de tecnologias como IoT e Big Data na otimização da eficiência logística. Essas inovações não apenas reduzem desperdícios e aumentam a transparência nas operações, mas também fortalecem a resiliência e a sustentabilidade das cadeias logísticas no setor agroindustrial.

Para cadeias agroalimentares transfronteiriças, Wang et al. (2024) abordam o impacto das tecnologias digitais na sustentabilidade dessas cadeias, facilitando a rastreabilidade e uma gestão mais eficiente dos recursos em contextos de comércio internacional. Complementando essa visão, Yadav et al. (2022) revisam os métodos de avaliação de desempenho em cadeias

agroalimentares, propondo um modelo de avaliação que considera fatores econômicos, sociais e ambientais para mensurar a eficiência.

Por fim, Yi et al. (2021) examinam estratégias de financiamento sustentável para pequenos agricultores com restrições de capital. Eles mostram como modelos de financiamento voltados para a sustentabilidade podem ajudar esses agricultores a adotarem práticas mais responsáveis, aumentando sua competitividade e promovendo uma agricultura mais sustentável.

### 4.2.3 Digitalização e inovações

Por último, também foi desenvolvido a Tabela 5 como síntese de trabalhos estudados com foco principal no âmbito da digitalização e inovação no agronegócio.

Foco de Pesquisa	Referência ABNT	Objetivo de Pesquisa
Blockchain	ALKAHTANI et al., 2021	Investigar a aplicação de blockchain e estratégias cooperativas no gerenciamento de cadeias de suprimentos agrícolas digitais.
Digitalização da Cadeia de Suprimentos	AMENTAE; GEBRESENBET, 2021	Analisar o papel da digitalização para otimizar a gestão de cadeias agroalimentares.
Eficiência de Recursos	ANASTASIADIS et al., 2018	Explorar os desafios de adoção de tecnologias digitais para eficiência de recursos no setor agroalimentar.
Digitalização	DONG et al., 2023	Investigar os efeitos da digitalização na lucratividade e sustentabilidade das cadeias agroalimentares.
Desenvolvimento Sustentável	GAO; LIAO, 2024	Analisar a coordenação do desenvolvimento agroecológico e agroeconômico com o uso de metodologias digitais.
Digitalização agrícola	GINIGE et al., 2016	Implementar ecossistema digital para melhorar a produção agrícola sustentável no Sri Lanka.
Blockchain	KASSANUK; PHASINAM, 2022	Desenvolver uma estrutura agrícola inteligente baseada em blockchain para segurança de dados na

		agricultura.
Digitalização agrícola	KOUADIO et al., 2012	Estimar a produção regional de trigo com base em dados de índice de área verde derivados do MODIS.
Desenvolvimento Sustentável	POPESCU et al., 2022	Revisão de inovações tecnológicas para enfrentar mudanças climáticas e segurança alimentar.
Tecnologias Digitais	SCHMIDT et al., 2024	Explorar o papel de tecnologias digitais para aumentar a eficiência e sustentabilidade nas atividades pós-colheita.

**Tabela 5:** Focos e Objetivos de Pesquisa

**Fonte:** Autoria Própria

Alkahtani et al. (2021) investigam a aplicação de blockchain na gestão de cadeias de suprimentos agrícolas digitais, enfatizando o tema da rastreabilidade e segurança de dados. O estudo sugere que a tecnologia blockchain promove transparência e eficiência nas operações, melhorando a segurança dos dados na cadeia de suprimentos. De forma semelhante, Kassanuk e Phasinam (2022) desenvolvem uma estrutura inteligente baseada em blockchain para o setor agrícola, garantindo maior precisão e segurança nas transações e fortalecendo a confiabilidade do setor.

No contexto da digitalização e automação das cadeias agroalimentares, Amentae e Gebresenbet (2021) exploram o impacto da digitalização na gestão dessas cadeias, destacando como a automação e o monitoramento digital aumentam a eficiência e reduzem desperdícios. Dong et al. (2023) reforçam esses benefícios, mostrando que a digitalização otimiza a gestão de estoques e reduz o desperdício de recursos, promovendo maior lucratividade e sustentabilidade. Kouadio et al. (2012) complementam essa visão ao demonstrar o uso de dados de sensoriamento remoto para prever safras, otimizando a alocação de recursos na agricultura.

No que diz respeito ao uso de tecnologias digitais para eficiência de recursos, Anastasiadis et al. (2018) discutem os desafios de adoção dessas tecnologias no setor agroalimentar, abordando as barreiras tecnológicas e financeiras. Ainda assim, o estudo conclui que essas inovações são fundamentais para reduzir o consumo de água e energia e

promover a sustentabilidade. Popescu et al. (2022) também exploram inovações tecnológicas com foco em enfrentar as mudanças climáticas, destacando como novas tecnologias podem otimizar a produção e minimizar o impacto ambiental.

Para desenvolvimento sustentável no setor agrícola, Gao e Liao (2024) analisam a coordenação entre práticas agroecológicas e metodologias digitais, argumentando que a digitalização facilita o monitoramento ambiental e contribui para a preservação de recursos naturais. De forma prática, Ginige et al. (2016) implementam um ecossistema digital no Sri Lanka, aumentando a produtividade dos pequenos agricultores por meio de um melhor acesso à informação e promovendo práticas agrícolas sustentáveis.

Finalmente, no contexto das atividades pós-colheita, Schmidt et al. (2024) destacam o papel das tecnologias digitais na sustentabilidade, mostrando como sensores e IoT podem reduzir perdas e aumentar a eficiência das operações pós-colheita.

## 5 Discussão

Este estudo teve três objetivos principais, que abarcavam tanto os desafios logísticos que impactam o agronegócio brasileiro, as inovações tecnológicas que estão sendo implementadas no setor e os caminhos para mitigar os impactos ambientais da atividade.

Quanto ao primeiro objetivo, o estudo evidenciou que os desafios logísticos nas regiões Centro-Oeste e Norte refletem limitações estruturais significativas. A dependência do modal rodoviário e a infraestrutura insuficiente elevam os custos operacionais e aumentam as emissões de carbono, alinhando-se aos estudos de Brown (2018) e Soledispa-Cañarte et al. (2023), que apontam a necessidade de um sistema logístico mais robusto e sustentável para reduzir a pressão sobre o meio ambiente.

Para o segundo objetivo, a pesquisa destaca o papel da digitalização e das tecnologias avançadas na construção de uma cadeia de suprimentos mais sustentável. Tecnologias como Blockchain e a Internet das Coisas, conforme Alkahtani et al. (2021) e Kassanuk; Phasinam (2022), promovem rastreabilidade e segurança, trazendo transparência e eficiência às operações agrícolas. Contudo, este trabalho também evidenciou barreiras financeiras e tecnológicas na construção de uma cadeia de suprimentos mais sustentável, como os altos custos e a falta de conectividade em áreas rurais.

Em relação ao terceiro objetivo, este trabalho apontou para práticas agroecológicas como alternativas promissoras ao modelo intensivo de monocultura. Estudos de Correia et al. (2024) e Lucena et al. (2024) mostram que essas práticas não só aumentam a resiliência climática e a preservação do solo, mas também promovem uma produção agrícola satisfatória e sustentável. Por fim, este estudo também sugere que iniciativas governamentais, como a moratória da soja, desempenham papel essencial na preservação ambiental e que a expansão dessas políticas para outros biomas pode fortalecer práticas sustentáveis no agronegócio brasileiro, evitando o desmatamento e preservando a biodiversidade.

A taxonomia que sintetiza os desafios, as inovações tecnológicas e as estratégias de mitigação tratadas de acordo com a numeração das referências bibliográficas proposta no Anexo 1 é retratada na Tabela 6:

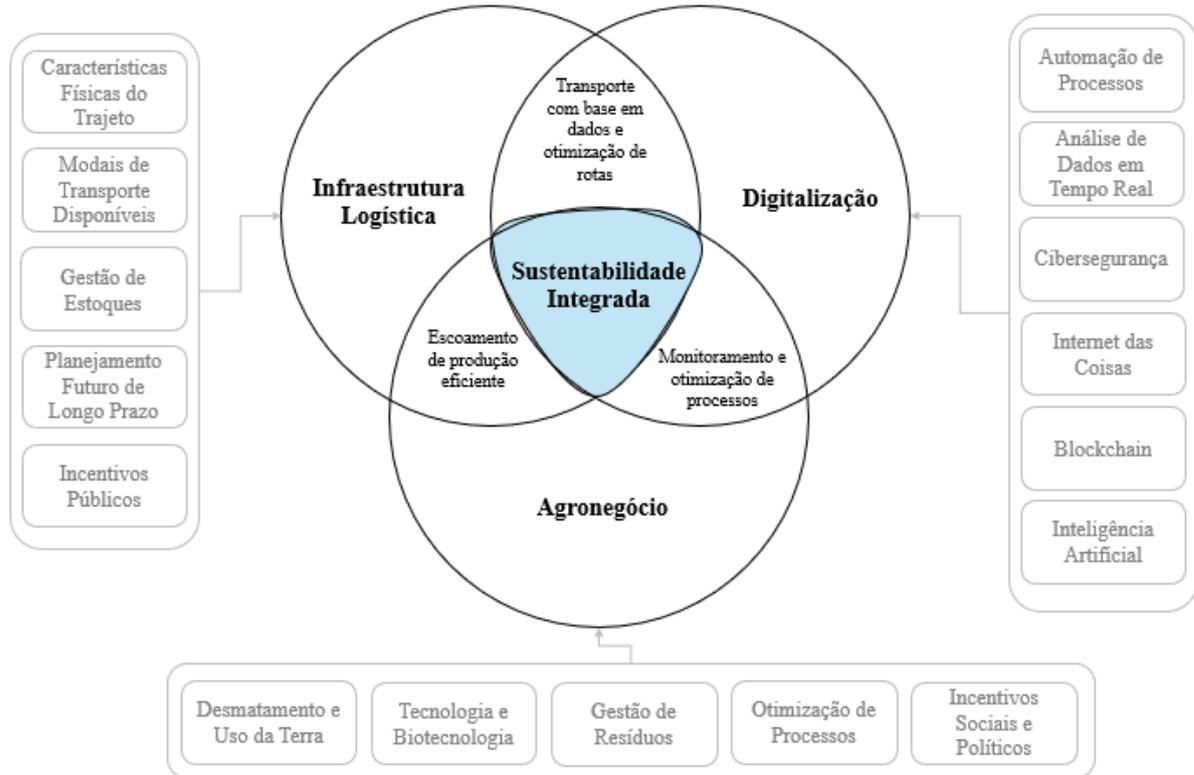
Meta-Dimensão	Dimensão	Frequência	Referência
Cadeia de Suprimentos e Desafios	Integração e Modais de Transporte	5	1; 11; 14; 46; 54
	Infraestrutura Logística e Gargalos	11	8; 9; 13; 19; 23; 42; 49; 56; 58; 65; 67
	Eficiência e Desperdícios	6	10; 21; 35; 48; 52; 63
Inovações Tecnológicas	Digitalização e Automação	9	4; 5; 20; 21; 22; 25; 34; 46; 52
	Tecnologias da Informação	5	29; 34; 61; 63; 64
	Segurança e Rastreabilidade	3	3; 33; 55
	Biofertilizantes e Práticas Agroecológicas	4	2; 25; 47; 60
Impactos e Mitigação da Problemática Ambiental	Desenvolvimento Sustentável	12	7; 12; 15; 24; 25; 31; 32; 37; 38; 39; 45; 66
	Emissões de Gases do Efeito Estufa	6	17; 26; 30; 43; 51; 53
	Desmatamento e Perda de Biodiversidade	10	6; 16; 18; 27; 40; 44; 50; 51; 53; 57
	Uso da Terra	5	28; 37; 41; 59; 62
	Políticas Públicas	2	28; 62
	Panorama Ambiental	3	30; 45; 50

**Tabela 6:** Taxonomia dos Objetivos

**Fonte:** Elaborado pelo Autor.

A partir dessa taxonomia, este trabalho propõe uma interseção entre os três temas estudados ao entender a necessidade de um sistema logístico mais robusto ao agronegócio brasileiro, o qual precisa ter como base modais de transporte inteligentes e eficiência na

gestão de recursos o que, por sua vez, mitiga impactos ambientais causados pelos gargalos de infraestrutura no setor. Isso é evidenciado no framework abaixo, no qual é descrito as convergências dos três pilares aqui estudados e se chega no conceito de sustentabilidade integrada:



**Figura 14:** Framework da Interseção Entre os Temas

Fonte: Autoria Própria

No framework descrito pela Figura 14, cada um dos pilares converge para pontos específicos que evidenciam a interdependência entre as áreas. A união entre Infraestrutura Logística e Agronegócio resulta em um escoamento de produção mais eficiente, onde a logística aprimorada permite que a produção agrícola chegue ao destino com menos desperdício e menor impacto ambiental; a convergência entre Digitalização e Agronegócio facilita o monitoramento e a otimização de processos, utilizando tecnologias como sensores e análise de dados em tempo real para maximizar a eficiência no uso de insumos e reduzir desperdícios, promovendo uma produção mais inteligente; por último, a intersecção entre Infraestrutura Logística e Digitalização permite um transporte baseado em dados e na

otimização de rotas, integrando ferramentas digitais que reduzem custos e tornam a cadeia de suprimentos mais ágil e responsiva às demandas do mercado.

A partir da união desses três pontos de convergência – escoamento eficiente, processos inteligentes e otimização através de dados – emerge o conceito de Sustentabilidade Integrada. Essa centralidade traduz o objetivo de um agronegócio que combina eficiência econômica e responsabilidade ambiental, promovendo uma operação integrada onde cada área contribui para um modelo de desenvolvimento que respeita os limites ecológicos e atende às necessidades socioeconômicas do setor.

## 6 Agenda de pesquisa

Nesta seção, são apresentadas as oportunidades de pesquisa futura identificadas a partir das análises realizadas.

Entre os temas de destaque, surgem as inovações logísticas e a necessidade de uma infraestrutura sustentável no agronegócio do país. Estudos futuros podem se concentrar em avaliar o impacto da transição do modal de transporte rodoviário no escoamento do agronegócio para transporte alternativos, como ferrovias e hidrovias, realizando projeções de acordo com cenários de investimentos nesses modais e melhorar a base que se existe sobre essa questão. Que tal transição diminuiria as emissões de carbono e os custos operacionais da cadeia agropecuária já é muito bem sabido; metrificar cuidadosamente essa transição, assimilando rotas, investimentos e tempos de pagamento é um segundo passo a se pesquisar.

Outra área promissora a estudos futuros envolve a exploração de práticas agroecológicas, que buscam mitigar o impacto ambiental da agricultura intensiva. Pesquisas futuras podem metrificar o quanto especificamente a atividade agrícola no Norte do país pode melhorar com essas práticas, aprofundando também os impactos dessas práticas sobre a recuperação de biodiversidade e a resiliência climática das áreas de produção, considerando as variáveis regionais no bioma amazônico e do Cerrado brasileiro.

Investigações sobre políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis também são interessantes, já que regulamentos e subsídios poderiam promover uma transição mais rápida e abrangente para um modelo de produção mais ecologicamente equilibrado. Pesquisas que abordem o impacto das regulamentações e políticas ambientais no agronegócio podem oferecer insights importantes sobre a forma de se gerir a questão.

Uma linha de pesquisa também promissora envolve o estudo de casos de implementação de sistemas de monitoramento digital, avaliando numericamente seu impacto na redução do consumo de recursos e ajudando em projeções futuras.

Todas essas linhas de pesquisa têm o potencial de contribuir significativamente para o tema, incrementando o conhecimento científico e facilitando a promoção de um agronegócio brasileiro que harmonize desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, influenciando práticas, políticas e inovações tecnológicas rumo a um futuro mais sustentável. A Tabela 7 desenvolvida abaixo sintetiza as perguntas de pesquisa de acordo com seus temas, ao passo que a Tabela 8 aponta as referências bibliográficas que embasaram a formulação dessas perguntas, numeradas de acordo com o proposto no Anexo 1.

<b>Perguntas de Pesquisa</b>
<b>Logística e Infraestrutura</b>
<p>1. Qual é a redução percentual nas emissões de carbono ao implementar modais de transporte alternativos, como ferrovias e hidrovias, no agronegócio brasileiro, em comparação com a dependência atual do transporte rodoviário?</p> <p>2. Quais seriam os custos e benefícios econômicos ao adotar diferentes cenários de investimento em infraestrutura ferroviária e hidroviária para o agronegócio?</p> <p>3. Como diferentes níveis de investimento em infraestrutura sustentável impactariam a eficiência logística no setor agroindustrial, considerando um horizonte de 10 a 20 anos?</p>
<b>Práticas Agroecológicas</b>
<p>4. Quais melhorias específicas, em porcentagem, no rendimento agrícola poderiam ser alcançadas com a adoção de práticas agroecológicas no Norte do Brasil?</p> <p>5. Em que medida as práticas agroecológicas contribuem para a recuperação da biodiversidade local e para a resiliência climática, e como esses fatores variam entre os biomas da Amazônia e do Cerrado?</p> <p>6. Qual é o impacto financeiro das práticas agroecológicas na redução dos custos com insumos químicos e no aumento da qualidade do solo?</p>
<b>Digitalização e Tecnologias</b>
<p>7. Qual o impacto financeiro da digitalização, em termos de retorno sobre investimento, para o agronegócio brasileiro em um período de cinco a dez anos?</p> <p>8. Como diferentes sistemas de monitoramento digital afetam a eficiência operacional no uso de recursos naturais, considerando cenários regionais no Brasil?</p>
<b>Políticas Públicas e Incentivos para Sustentabilidade</b>
<p>9. Qual é o impacto sobre o custo da produção agrícola de políticas de subsídios governamentais para práticas sustentáveis?</p> <p>10. Em quanto tempo uma política de incentivo fiscal para tecnologias sustentáveis pode gerar retornos significativos no setor agroindustrial, considerando a economia em recursos naturais e a redução de emissões?</p>

**Tabela 7:** Perguntas de Pesquisas Futuras

**Fonte:** Autoria Própria

<b>Referências às Perguntas de Pesquisa</b>	
<b>1.</b>	1; 11; 14; 46; 54
<b>2.</b>	9; 13; 19; 23; 42; 49
<b>3.</b>	35; 42; 52; 63
<b>4.</b>	2; 25; 47; 60
<b>5.</b>	6; 16; 18; 27; 40; 44; 50
<b>6.</b>	6; 16; 18; 27; 40; 44; 50; 51
<b>7.</b>	4; 5; 20; 21; 22; 34; 48; 52
<b>8.</b>	21; 29; 34; 63; 64
<b>9.</b>	19; 28; 62
<b>10.</b>	19; 28; 62

**Tabela 8:** Referências às Perguntas de Pesquisas Futuras

**Fonte:** Autoria Própria

## 7 Conclusão

Este estudo trouxe uma compreensão mais clara das ligações entre o agronegócio brasileiro e a sustentabilidade ambiental, destacando sinergias que impulsionam o setor em direção a práticas mais responsáveis e eficientes. A análise bibliométrica nele realizada permitiu identificar tendências e direcionamentos atuais, enquanto a análise de conteúdo trouxe à tona as principais dinâmicas e desafios envolvidos, proporcionando uma visão detalhada do campo. Com a organização dos dados obtidos, esse trabalho facilita a visualização de oportunidades e caminhos emergentes para a integração de práticas sustentáveis no agronegócio brasileiro.

Duas abordagens distintas se destacaram como caminhos para tornar o agronegócio mais sustentável: o investimento em práticas de uso eficiente da terra e conservação ambiental e, por outro lado, a implementação de tecnologias que otimizam a cadeia logística e reduzem impactos ambientais desnecessários. Ambas as estratégias exigem um ponto de partida baseado em uma compreensão integral da cadeia produtiva e dos contextos de produção e ambiental. Em síntese, a transição do agronegócio para um modelo mais sustentável depende ao mesmo tempo da incorporação de melhor gerenciamento da cadeia de suprimentos, inovações tecnológicas e uso de práticas ecológicas: nesse ponto, nomeado no framework como Sustentabilidade Integrada, há uma decréscimo de impacto ambiental enquanto aumenta-se a eficiência produtiva.

Com o contínuo desenvolvimento de tecnologias e práticas sustentáveis, é esperado que o agronegócio brasileiro avance em direção a um futuro mais alinhado aos objetivos globais de conservação ambiental. Porém, cabe observar que essa integração ainda se encontra em estágio inicial e enfrenta desafios identificados ao longo das análises. Assim, este trabalho oferece bases para futuras pesquisas que possam explorar essas lacunas e orientar políticas públicas e estratégias empresariais que promovam uma agricultura mais sustentável e responsável.

Por fim, este estudo fornece orientações para pesquisadores, empresas, produtores e formuladores de políticas que desejam estudar e promover um agronegócio mais eficiente e ambientalmente responsável, alinhado às exigências de um mundo em constante evolução tecnológica.

## **Referências Bibliográficas :**

AFONSO, R. Logística e transporte: importância para o desenvolvimento regional. *Revista Brasileira de Logística*, v. 5, n. 2, p. 30-45, 2006.

AKOTO, D. S.; PARTEY, S. T.; DENICH, M., et al. Towards bamboo agroforestry development. *African Journal of Agribusiness*, 2020.

ALKAHTANI, M.; KHALID, Q. S.; JALEES, M.; OMAIR, M.; HUSSAIN, G.; PRUNCU, C. I. E-Agricultural supply chain management coupled with blockchain effect and cooperative strategies. *Sustainability*, v. 13, n. 816, 2021.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *International Journal of Agroecology*, 1999.

AMENTAE, T. K.; GEBRESENBET, G. Digitalização na gestão de cadeias agroalimentares. *Agricultural Systems*, v. 175, 2021.

ANASTASIADIS, F.; CHRISTODOULOU, M.; TSIFOROS, T. Eficiência de recursos e adoção de tecnologias digitais no setor agroalimentar. *Journal of Agricultural Technology*, v. 33, 2018.

ARAÚJO, V. M.; SOUSA, T. D.; SANTOS, J. P. Restauração ecológica no semiárido brasileiro: impacto na microbiota do solo. *Journal of Environmental Management*, v. 265, 2024.

BACKHOUSE, M.; LORENZEN, K. Bioeconomia e relações de terra no setor sucroenergético brasileiro. *Journal of Cleaner Production*, v. 298, 2021.

BARAKA, B.; MBURU, J.; MURIITHI, B. Transaction costs in rural-urban vegetable supply chains. *International Journal of Vegetable Science*, 2021.

BARAKA, M.; HADDAD, R.; AL-KHUDARI, M. Impacto de custos transacionais e participação de mercado na lucratividade dos pequenos agricultores. *Journal of Agricultural Economics*, v. 76, 2019.

BARROS, L.; SILVA, D. Custos logísticos e competitividade da soja brasileira. *Revista de Comércio Exterior e Logística*, v. 6, n. 2, p. 200-215, 2012.

BONAMIGO, E.; FRECH, J.; SANTOS, P. Lean 4.0 em serviços agroindustriais: uma agenda para o uso eficiente de recursos. *Systems Research and Behavioral Science*, v. 41, 2024.

BRAUNERHJELM, P.; HEPBURN, C. Climate change, complexity, and policy design. *Journal of Public Policy*, v. 43, p. 23-42, 2023.

BRANDER, James A.; TAYLOR, M. Scott. The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo-Malthus Model of Renewable Resource Use. *The American Economic Review*, Nashville, v. 88, n. 1, p. 119-138, 1998.

BROWN, A. Integração de sistemas infraestruturais para a sustentabilidade. *Sustainable Infrastructure Journal*, v. 55, 2018.

BURKE, M.; HSIANG, S. M. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, v. 527, p. 235–239, 2015.

CHUAN, Z.; WANG, L.; LI, J. Desenvolvimento sustentável e uso de recursos ambientais e agrícolas. *Sustainability*, v. 16, n. 3, 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Capacidade de armazenagem e desafios logísticos no agronegócio brasileiro. Brasília: CONAB, 2023.

CORREA, L. M.; RAMOS, V. Dificuldades e limitações do modal rodoviário no escoamento de grãos. *Logística e Agronegócio*, v. 2, n. 4, p. 78-92, 2010.

CORREIA, R. L.; FERREIRA, A. M.; OLIVEIRA, C. Agroecologia na transição Amazônia-Cerrado: desenvolvimento sustentável. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 232, 2024.

COSTA, A.; LIMA, J. Impacto do desmatamento na Amazônia e suas implicações para o clima global. *Revista Brasileira de Estudos Ambientais*, v. 8, n. 2, p. 104-122, 2019.

COSTA, L.; OLIVEIRA, P.; MARTINS, R. Fluxos hídricos da Amazônia e implicações climáticas no Brasil. *Journal of Hydrology*, 2021.

CRAMTON, P.; OCKENFELS, A.; TIROLE, J. Policy Brief—Translating the collective climate goal into a common climate commitment. *Economics of Energy & Environmental Policy*, v. 6, n. 2, p. 5-13, 2017.

CSILLIK, O.; MAYER, M.; PERES, C. Perdas de carbono no Arco do Desmatamento da Amazônia: análise de distúrbios naturais e antropogênicos. *Global Change Biology*, v. 30, n. 7, 2024.

DEAKIN, B. The impact of government policies on railway development: a comparative perspective. *Journal of Transport Policy*, v. 8, n. 2, p. 141-156, 2001.

DIAMOND, Jared. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. New York: Viking Press, 2005.

DI PASQUALE, V.; NENNI, M. E.; BOYER, J., et al. The Digitalization Paradigm: Impacts on Agri-Food Supply Chain Profitability and Sustainability. *Journal of Agribusiness and Digital Economy*, 2023.

DONG, Y.; LIU, Z.; WU, C. Digitalização e sustentabilidade nas cadeias agroalimentares. *Agricultural Economics Review*, v. 12, 2023.

DYNAMO ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS LTDA. Carta Dynamo nº 112: O Tempo do Clima. Disponível em: <https://www.dynamo.com.br/carta/carta-dynamo-no-112-o-tempo-do-clima/>. Acesso em: 30 ago. 2024.

ESCRIBA-GELONCH, M.; LIANG, S.; SCHALKWYK, H. Digital Twins in Agriculture: Orchestration and Applications. *Agronomy Journal*, 2024.

ESTY, D.; MOFFA, A. Why climate change collective action has failed and what needs to be done within and without the trade regime. *Global Environmental Politics*, v. 19, n. 4, p. 1-28, 2019.

FACIN, Ana Lúcia Fava Neves et al. A review on Industry 4.0 and circular economy: A bibliometric analysis and research agenda. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11451, 2022.

FIELKE, S.; TIDSWELL, A.; LEVERETT, M. Biotechnology in agribusiness: new paths for sustainability and productivity. *Journal of Agricultural Research*, v. 17, n. 6, p. 145-160, 2020.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. Desafios logísticos no agronegócio brasileiro. *Revista de Estudos Logísticos*, v. 4, n. 1, p. 40-57, 2003.

FREITAS, R. M.; OLIVEIRA, A. P.; SOUZA, L. C.; GOMES, T. R. O ponto de equilíbrio ecológico da floresta amazônica: análise crítica. *Revista de Ecologia Tropical*, v. 22, p. 67-89, 2021.

GAO, J.; LIAO, Y. Coordenação entre desenvolvimento agroecológico e agroeconômico com metodologias digitais. *Environmental Development*, v. 22, 2024.

GARCIA, C. & Hu, L. (2022). "Climate-induced Migration: Future Predictions and Current Challenges." *Climate Change Journal*, 164(2), 327-341.

GALT, R.; PINZÓN, A.; CORONIL, J., et al. Agroecology and sustainability in agribusiness. *Journal of Environmental Studies*, v. 21, n. 4, p. 210-225, 2024.

GATTI, L. V.; CUNHA, C. L.; MARANI, et al. Amazon carbon emissions double mainly by dismantled in law enforcement. *Nature Communications*, v. 13, p. 1-10, 2022.

GATTI, Luciana. “Amazônia – Desmatamento, Emissão de Carbono e Mudanças Climáticas.” Palestra apresentada em 1 de junho de 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=clnCHYI3EuU>. Acesso em: 1 set. 2024.

GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHEIDT, S. Brazil’s Soy Moratorium. *Science*, v. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015.

GINIGE, A.; SIRIWARDENA, P.; EDIRISINGHE, R. Ecosistema digital para a produção agrícola sustentável no Sri Lanka. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 124, 2016.

GOMES, M. S.; PEREIRA, R. T.; LIMA, C. V.; BARBOSA, J. H. A biodiversidade da Amazônia e seus reflexos no clima global. *Estudos Amazônicos*, v. 19, p. 234-258, 2018.

GOMES, V. M., Santos, P., & Rocha, C. (2023). "Logistics and Sustainable Practices in Brazilian Agribusiness." *Sustainability in Agribusiness Journal*, 12(3), 234-248.

HERNANDEZ, M.; GARCIA, L.; NAVARRO, J. Fatores que influenciam a restauração ecológica. *Ecological Applications*, v. 15, 2024.

HRUSTEK, L. Indústria 4.0 e sustentabilidade no setor agrícola. *Journal of Cleaner Production*, v. 120, 2020.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services. *Agricultural Systems Journal*, v. 8, n. 5, p. 185-201, 2009.

KARMINI, H.; SANTOSO, M.; HADI, R. Agroforestry and its economic and social sustainability. *Asian Journal of Forestry*, v. 9, n. 4, p. 300-320, 2017.

KASSANUK, P.; PHASINAM, K. Blockchain em cadeias agrícolas: segurança de dados. *Agricultural Informatics Journal*, v. 27, 2022.

KOUADIO, L.; OUATTARA, S.; BOKONON-GANTA, J. Estimativa da produção agrícola com sensoriamento remoto. *Remote Sensing in Agriculture*, v. 6, 2012.

LOPES, T.; ALMEIDA, M. Waste in the grain storage chain in Brazil. *Agricultural Economics Review*, v. 22, n. 3, p. 145-160, 2021.

LUCENA, A. P.; GOMES, F. B.; CARVALHO, M. S. Sistema Taungya em áreas degradadas: avaliação econômica e ecológica. *Agroforestry Systems*, v. 112, 2024.

MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; LOBO, L. S., et al. Using stable isotopes to determine sources of evaporated water to the atmosphere in the Amazon basin. *Water Resources Research*, v. 31, n. 12, p. 305-312, 1995.

MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; LOBO, L. S. Biodiversity and the water cycle in the Amazon. *Journal of Water Resources*, v. 45, p. 201-215, 1995.

MODICA, Tiziana; COLICCHIA, Claudia; TAPPIA, Elena; MELACINI, Marco. Empowering freight transportation through Logistics 4.0: A maturity model for value creation. *Production Planning & Control*, 2021.

MOREIRA SALLES, João. Arrabalde. São Paulo: Companhia das Letras, 2023.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. Environmental benefits of agroforestry systems. *Journal of Tropical Forest Science*, v. 12, n. 3, p. 210-235, 2004.

MONTANERELLA, L.; PANAGOS, P. Sustainable soil management and the European Green Deal. *European Soil Journal*, 2021.

MÜLLER, C.; PEREIRA, R. A história da infraestrutura ferroviária no Brasil e seus impactos. *Revista de Infraestrutura e Desenvolvimento*, v. 10, n. 1, p. 20-36, 2014.

MULLAN, K.; CAVIGLIA-HARRIS, J. L.; SILLS, E. O. Sustainability of agricultural production following deforestation in the tropics: evidence on the value of newly-deforested, long-deforested and forested land in the Brazilian Amazon. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 114, p. 1-19, 2023.

NAGARIYA, R.; MUKHERJEE, S.; BARAL, M. M., et al. Challenges of blockchain technology adoption in agro-industries. *Journal of Sustainable Food Systems*, v. 6, n. 4, p. 200-215, 2022.

NASCIMENTO, S.; OLIVEIRA, P.; SOUZA, R. Energia e evapotranspiração da floresta amazônica. *Energy and Environmental Science*, 2019.

NOBRE, Antonio Donato. Há um rio sobre nós. 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ExmplURL>. Acesso em: 1 set. 2024.

NOBRE, C. A.; COSTA, M. H.; SILVA, S. Amazônia: impactos e importância climática. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2014.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Ciencia e Cultura*, v. 54, n. 2, p. 22-25, 2002.

NÚÑEZ-MERINO, Miguel; MAQUEIRA-MARÍN, Juan Manuel; MOYANO-FUENTES, José; CASTAÑO-MORAGA, Carlos Alberto. Industry 4.0 and supply chain: A systematic science mapping analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 181, p. 121788, 2022.

OLIVEIRA, J.; SANTOS, L. Impact of automation in grain storage. *Journal of Agricultural Technology*, v. 13, n. 2, p. 75-92, 2019.

OLIVEIRA DA SILVA, F.; ARELLANO, E. C.; VIANA, B. F. Inovações agroecológicas para sustentabilidade em fazendas de frutas. *People and Nature*, v. 3, 2024.

OSUNA-VELARDE, D. V.; SALAZAR-ECHEAGARAY, J. E.; BUENO-FERNÁNDEZ, M. M. Logística 4.0 no agronegócio: análise de sustentabilidade e competitividade. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, v. 8, 2024.

PAUSCHINGER, D.; KLAUSER, F. R. Digital technologies in agriculture: Space, authority, and expertise. *Agricultural Innovation Journal*, 2021.

POPESCU, G. C.; POPESCU, M.; KHONDKER, M., et al. Agricultural sciences and environmental challenges. *Agronomy Journal*, 2022.

ROCHA, A.; OLIVEIRA, J.; SANTOS, L. Armazenagem de grãos e tecnologias de monitoramento. *Revista Brasileira de Tecnologia Agrícola*, v. 18, n. 1, p. 47-64, 2020.

RODRIGUES, E.; LIMA, R.; FERNANDES, M. Sustainability Frameworks for Emerging Markets: A Case of Brazilian Agribusiness. *Journal of Business and Environmental Policy*, 33(2), 75-92, 2021.

SALATI, E. Influência da floresta amazônica no clima regional e global. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1979.

SANTOS, A. L.; OLIVEIRA, M. F.; PEREIRA, D. J. Logistics Challenges and Environmental Issues in Brazilian Agribusiness. *Journal of Agribusiness Logistics*, 14(2), 187-202, 2021.

SANTOS, R. M.; PEREIRA, L. D.; GOMES, M. Desmatamento na Amazônia: impactos em emissões de CO<sub>2</sub> e temperatura. *Environmental Research Letters*, v. 19, 2024.

SCHMIDT, R.; SILVA, F.; MEYER, P. Tecnologias digitais para sustentabilidade pós-colheita. *Journal of Postharvest Technology*, v. 8, 2024.

SILVA, A. M.; SOARES, B. E.; MELO, D. P. Dinâmica ecológica da floresta amazônica. *Revista Brasileira de Ecologia*, 2020.

SILVA, J. A.; SOUZA, M. R.; LIMA, P. C. A logística da produção agrícola no Mato Grosso: uma análise comparativa entre o transporte rodoviário e ferroviário. *Revista de Logística e Agronegócio*, v. 18, p. 112-125, 2020.

SILVA, J. B.; SOARES, F. P.; MELO, D. A. As consequências ecológicas do desmatamento na Amazônia. *Revista Brasileira de Ecologia*, v. 25, p. 112-133, 2020.

SILVA, L. P.; OLIVEIRA, R.; SOARES, M. E. A perda de vegetação natural no Brasil e a expansão da agricultura. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 9, p. 1-13, 2019.

SINGH, N.; BISWAS, R.; BANERJEE, M. A systematic review to identify obstacles in the agricultural supply chain and future directions. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, v. 13, n. 4, p. 564-587, 2023.

SMITH, P.; HOUSE, J.; BUSTAMANTE, M., et al. Global Environmental Changes and Their Societal Impacts. *Environmental Science & Policy*, 140, 1-18, 2023.

SOLEDISPA-CAÑARTE, J.; SALAZAR, R.; TORRES, M. Papel da Logística 4.0 na competitividade agroindustrial. *International Journal of AgriBusiness Logistics*, v. 12, 2023.

SOUZA JR., C.; ARAÚJO, D.; MENEZES, G. Mudanças de uso da terra nos biomas brasileiros: análise histórica com imagens de satélite. *Remote Sensing*, v. 12, n. 2735, 2020.

THOMÉ, Antônio Márcio Tavares; SCAVARDA, Luiz Felipe; SCAVARDA, Annibal José. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016.

TJAHJONO, Benny; ESPLUGUES, Carlos; ARES, Esther; PELAEZ, Gemma. What does Industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1175–1182, 2017.

VILLORIA, Nelson; GARRETT, Rachael; GOLLNOW, Florian; CARLSON, Kimberly. Leakage does not fully offset soy supply-chain efforts to reduce deforestation in Brazil. *Nature Communications*, [s.l.], v. 13, p. 5476, 2022.

WANG, Y.; LIU, Z.; HUANG, F. Impacto da digitalização em cadeias agroalimentares transfronteiriças. *Journal of Global Food Security*, v. 20, 2024.

WINKELHAUS, Sven; GROSSE, Eric H. Logistics 4.0: A systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 1, p. 18–43, 2020.

YADAV, S.; SHARMA, R.; VERMA, T. Desafios na avaliação de desempenho em cadeias de suprimentos agroalimentares. *Journal of Supply Chain Management*, v. 15, 2022.

YAP, C. K.; AL-MUTAIRI, K. A. Indústria 4.0 e sustentabilidade no agroecossistema alimentar. *Foods*, v. 13, 2024.

YI, X.; ZHANG, L.; LI, K. Financiamento agrícola para agricultores com restrição de capital. *Production and Operations Management*, v. 30, 2021.

**Anexo 1**  
**Numeração das Referências**

Número Referência	Autores	Ano
1	AFONSO	2006
2	AKOTO et al.	2017
3	ALKAHTANI et al.	2021
4	AMENTAE & GEBRESENBET	2021
5	ANASTASIADIS et al.	2018
6	ARAUJO et al.	2024
7	BACKHOUSE & LORENZEN	2021
8	BARAKA et al.	2019
9	BARROS & SILVA	2012
10	BONAMIGO et al.	2024
11	BROWN	2018
12	CHUAN et al.	2024
13	CONAB	2023
14	CORREA & RAMOS	2010
15	CORREIA et al.	2024
16	COSTA & LIMA	2019
17	COSTA, OLIVEIRA & MARTINS	2021
18	CSILLIK et al.	2024
19	DEAKIN	2001
20	DI PASQUALE et al.	2023
21	DONG et al.	2023
22	ESCRIBA-GELONCH, LIANG & SCHALKWYK	2024
23	FLEURY et al.	2003
24	FREITAS et al.	2021
25	GAO & LIAO	2024
26	GATTI et al.	2022
27	GATTI	2023
28	GIBBS et al.	2015
29	GINIGE et al.	2016
30	GOMES et al.	2018
31	HERNANDEZ et al.	2024
32	HRUSTEK	2020
33	KASSANUK & PHASINAM	2022
34	KOUADIO et al.	2012
35	LOPES & ALMEIDA	2021
36	LORENZEN	2021
37	LUCENA et al.	2024
38	MARTINELLI et al.	1995

39	MONCLARO et al.	2024
40	MULLAN et al.	2021
41	MULLAN, CAVIGLIA-HARRIS & SKILLS	2023
42	MÜLLER & PEREIRA	2014
43	NASCIMENTO, OLIVEIRA & SOUZA	2019
44	NOBRE	2014
45	NOBRE, COSTA & SILVA	2014
46	OSUNA-VELARDE, SALAZAR-ECHEAGARAY & BUENO-FERNÁNDEZ	2024
47	POPESCU, POPESCU & KHONDER et al.	2022
48	ROCHA et al.	2020
49	RODRIGUES & LIMA	2015
50	SALATI	1979
51	SANTOS et al.	2024
52	SCHMIDT et al.	2024
53	SILVA et al.	2024
54	SILVA, SOUZA & LIMA	2020
55	SINGH, BISWAS & BANERJEE	2023
56	SOLEDISPA-CAÑARTE et al.	2023
57	SOUZA & ALMEIDA	2020
58	SOUZA & ANDRADE	2022
59	SOUZA JR. et al.	2020
60	SUI et al.	2022
61	TJAHJONO, ESPUGLUES & PELAEZ	2021
62	VILLORIA, GARRET & GOLLNOW	2022
63	WANG et al.	2024
64	WINKELHAUS & GROSSE	2020
65	YADAV et al.	2022
66	YAP & AL-MUTAIRI	2024
67	YI et al.	2021