

**POTENCIAL DOS BIOINSUMOS PARA A AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE A PARTIR DE SUAS
CARACTERÍSTICAS, CONCEITOS E VANTAGENS**

**POTENTIAL OF THE BIO-INPUTS FOR SUSTAINABLE
AGRICULTURE: AN ANALYSIS BASED ON THEIR
CHARACTERISTICS, CONCEPTS, AND ADVANTAGES**

ANDRÉ FELIPE GOUVEIA DA SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia.
andre.gouveia@academico.ifg.edu.br

KENNEDY DE ARAÚJO BARBOSA

Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Rio Verde
kennedy.barbosa@ifgoiano.edu.br

ADRIANA FERREIRA SILVA

Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Samambaia
adsilva@ufg.br

JOSÉ ELENILSON CRUZ

Instituto Federal de Brasília – Campus Gama
jose.cruz@ifb.edu.br

Resumo: o presente estudo tem por objetivo explorar a compreensão sobre o uso, vantagens e desvantagens dos bioinsumos, buscando ampliar a compreensão quanto ao conceito, tipos, características, evolução de uso ao longo do tempo e às instituições de pesquisa e empresas que lideram o desenvolvimento desses recentes insumos agrícolas. Trata-se de um estudo exploratório e qualitativo, realizado com dados secundários levantados por meio de buscas em publicações de órgãos oficiais (Embrapa e Ministério da Agricultura e Pecuária) e artigos publicados em periódicos científicos no período de 2014 a 2023. As análises permitiram concluir que os bioinsumos desempenham um papel essencial na agricultura sustentável ao reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos, o que pode diminuir a poluição, a contaminação da água e os impactos na saúde humana. Eles melhoram a saúde do solo, a resistência das plantas e a eficiência no uso de nutrientes, promovendo sistemas agrícolas mais equilibrados. Embora ofereçam vantagens significativas, também enfrentam desafios como variação de eficácia em diferentes condições, custos iniciais e falta de regulamentação clara. No entanto, com avanços na pesquisa e políticas agrícolas favoráveis, os bioinsumos têm um futuro promissor. Eles representam uma solução para conciliar a necessidade de alimentar uma população crescente e proteger o meio ambiente, impulsionando a agricultura moderna em direção a práticas mais ecológicas e resilientes.

Palavras-chave: Bioinsumos; Sustentabilidade; Resiliência produtiva; eficiência.

Abstract: The aim of this study is to analyze the use, advantages and disadvantages of bio-inputs, seeking to broaden the understanding of the concept their concepts, types, characteristics, evolution of use over time and the research institutions and companies leading the way in their development. This is an exploratory and qualitative study, carried out with secondary data collected through searches in publications from official bodies (Embrapa and the Ministry of Agriculture and Livestock) and articles published in scientific journals between 2014 and 2023.. The analysis led to the conclusion that bio-inputs play an essential role in sustainable agriculture by reducing dependence on synthetic chemicals, which can reduce pollution, water contamination and health

impacts. They improve soil health, plant resistance and nutrient use efficiency, promoting more balanced agricultural systems. Although they offer significant advantages, they face challenges such as varying effectiveness in different conditions, initial costs and a lack of clear regulation. However, with advances in research and favorable agricultural policies, bio-inputs have a promising future. They represent a solution to reconciling the need to feed a growing.

Keywords: Bio-inputs; Sustainability; Productive Resilience; efficiency

Introdução

A agricultura moderna enfrenta o desafio de atender à crescente demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis, ao mesmo tempo em que minimiza os impactos ambientais e preserva a saúde do solo. Nesse contexto, a substituição de fertilizantes e defensivos químicos sintéticos por bioinsumos têm emergido como alternativa promissora e inovadora para a prática mais sustentável da agricultura. Esses insumos, derivados de componentes biológicos ou orgânicos, têm a capacidade de promover o crescimento, a saúde e a produtividade das plantas, enquanto reduzem a dependência de produtos químicos sintéticos e os riscos a estes associados (Souza *et al.*, 2022).

Os bioinsumos são classificados em várias categorias, incluindo biofertilizantes, biopesticidas e bioestimulantes, cada um desempenhando um papel fundamental na promoção da saúde das plantas e no aumento da eficiência da produção agrícola (Mazaro *et al.*, 2022). Para compreender o potencial de impacto dos bioinsumos na agricultura, é fundamental explorar seus conceitos, características e formas de aplicação, já que o conhecimento desses aspectos possibilitam a utilização mais eficiente e eficaz dessas inovações no campo, resultando em benefícios significativos para os agricultores e a produção agrícola.

Frente ao exposto, esse estudo tem por objetivo explorar a compreensão sobre o uso, vantagens e desvantagens dos bioinsumos, buscando ampliar a compreensão quanto ao conceito, tipos, características, evolução de uso ao longo do tempo e às instituições de pesquisa e empresas que lideram o desenvolvimento desses recentes insumos agrícolas. Adicionalmente, serão abordados modelos de aplicação de bioinsumos, culturas agrícolas que já adotam esses recursos e análises sobre suas vantagens, desvantagens e expectativas de custos associados à sua implementação. Por fim, discute-se as possíveis barreiras que podem surgir à adoção dos bioinsumos e as tendências que moldarão o futuro desses importantes recursos para a agricultura sustentável.

A evolução dos bioinsumos ao longo do tempo reflete o crescente interesse da sociedade e, mais especificamente da pesquisa, por uma agricultura sustentável. Inicialmente, a agricultura confiava exclusivamente em fertilizantes químicos e pesticidas sintéticos para aumentar a produção. No entanto, com o reconhecimento dos impactos ambientais negativos e as preocupações com a saúde humana associados a esses produtos químicos, cresceu a busca por alternativas mais seguras e ecológicas (Souza *et al.*, 2022).

A pesquisa em microbiologia do solo desempenhou um papel crucial na evolução dos bioinsumos por ter contribuído para a compreensão das complexas interações entre microrganismos do solo, plantas e nutrientes, o que levou ao desenvolvimento de biofertilizantes e biopesticidas mais eficazes (Oliveira, 2023). Além disso, avanços na biotecnologia permitiram a produção em larga escala desses produtos biológicos.

A evolução também foi impulsionada por preocupações ambientais e regulamentações supranacionais mais rigorosas. Países, como a Dinamarca, Holanda, Índia e EUA adotaram políticas de agricultura sustentável e de redução de produtos químicos tóxicos, incentivando a pesquisa e a adoção de bioinsumos (Cunha, 2023). As exigências desses países e de outros países impulsionaram a pesquisa e a adoção de bioinsumos em diversas partes do mundo. Além disso, preocupações ambientais e regulamentações mais rigorosas incentivam a evolução no setor agrícola, levando a práticas mais sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente. Com essas mudanças, espera-se que a agricultura continue avançando para garantir a segurança alimentar global e a preservação dos recursos naturais.

Bueno e Torres (2022) defendem que, para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos na Agenda 2030 da ONU, é importante o aumento na participação de insumos biológicos no controle de pragas e doenças, a expansão do controle biológico conservativo e a substituição dos insumos sintéticos e de fertilizantes. Isso pode ser alcançado, por exemplos, pela implementação de sistemas agroflorestais promovedores da diversificação de culturas e pelo uso de plantas repelentes naturais para controlar pragas, reduzindo assim a dependência de pesticidas químicos. Além disso, a utilização de biofertilizantes e compostagem orgânica pode substituir os fertilizantes sintéticos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental

Como resultado da evolução dos bioinsumos está a sua adequação como ferramenta essencial para agricultores comprometidos com a produção de alimentos de alta qualidade, a

minimização do impacto ambiental e a promoção da saúde do solo (Maganda, 2023), vez que eles têm se mostrado eficazes na redução do uso de agroquímicos, contribuindo para a preservação da biodiversidade e a saúde dos agricultores. Com a crescente demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis, a adoção de bioinsumos tem se tornado uma prática cada vez mais comum entre os produtores agrícolas em todo o mundo. A tendência é que esses produtos naturais continuem a ganhar espaço no mercado e a serem aprimorados para atender às necessidades da agricultura do século XXI.

Metodologia

Este estudo é exploratório quanto à sua finalidade, já que tem como propósito esclarecer aspectos teóricos sobre os bioinsumos, visando proporcionar uma visão mais abrangente sobre o assunto, contribuindo com investigações futuras mais específicas (Gil, 2022). Pesquisas exploratórias auxiliam na identificação de variáveis relevantes e na geração de hipóteses a serem testadas em pesquisas futuras, desempenhando papel fundamental no processo de pesquisa científica (Gil, 2022).

Os dados utilizados são de natureza secundária, levantados por meio de buscas (realizadas entre janeiro e fevereiro de 2024) em publicações de órgãos oficiais (Embrapa e Ministério da Agricultura e Pecuária) e artigos publicados em periódicos científicos publicados no período de 2014 a 2023. Foram selecionados 15 estudos que abordaram conceitos, características, tipos, vantagens e desvantagens do uso de bioinsumos, além de indicações de tendências futuras. Essa análise foi realizada verificando as palavras-chaves de busca e o conteúdo dos estudos para garantir a relevância e atualidade das informações coletadas. Além disso, foi realizada uma análise crítica dos resultados obtidos a fim de identificar lacunas no conhecimento.

Para a análise dos dados, foi empregada a abordagem qualitativa, de forma a permitir uma compreensão mais aprofundada sobre o tema. A abordagem qualitativa se destaca por explorar a profundidade e o significado dos dados, indo além da simples aparência para compreender a essência do fenômeno em questão (Pradov, 2013).

Resultados e discussão

Conceitos e Tipos de Bioinsumos

No contexto do Programa Nacional de Bioinsumos, instituído pelo Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, no âmbito do Ministério da Agricultura e Pecuária, bioinsumo é considerado:

O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (Art. 2º, Decreto nº 10.375/2020).

Em outras palavras, bioinsumos são produtos ou substâncias de origem biológica ou orgânica que desempenham um papel vital na agricultura sustentável. Esses insumos são fundamentais para melhorar a produtividade das culturas, a saúde do solo e a qualidade dos alimentos, podendo ser categorizados em várias classes principais, tais como (Mamani De Marchese; Filipponse, 2018):

- biofertilizantes: são compostos por microrganismos benéficos, como bactérias fixadoras de nitrogênio, que melhoram a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Eles atuam simbioticamente com as raízes das plantas, facilitando a absorção de elementos essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio.
- biopesticidas: consistem em organismos vivos, extratos vegetais ou produtos derivados de microrganismos que controlam pragas e doenças de forma sustentável. Eles são uma alternativa aos pesticidas químicos e sintéticos, reduzindo os riscos para o meio ambiente e a saúde humana.
- bioestimulantes: são substâncias que estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, aumentando sua resistência ao estresse biótico e abiótico. Eles incluem compostos como aminoácidos, ácido húmico e reguladores de crescimento.
- microrganismos benéficos: além dos biofertilizantes, muitos outros microrganismos benéficos, como fungos micorrízicos e bactérias promotoras de crescimento vegetal, podem ser considerados bioinsumos. Eles melhoram a absorção de nutrientes, auxiliam na decomposição da matéria orgânica e fortalecem a resistência das plantas a patógenos.

A compreensão desses diferentes tipos de bioinsumos pelo produtor rural é fundamental para sua aplicação eficaz na agricultura e na promoção da sustentabilidade. Além disso, o avanço de novas pesquisas para aprimorar a utilização desses bioinsumos é primordial

para garantir que sua aplicação seja feita de forma adequada e segura. Com o avanço da tecnologia e da ciência, novos tipos de bioinsumos estão sendo desenvolvidos, o que reforça a necessidade de o produtor se manter atualizado e informado sobre as melhores práticas para sua utilização. Dessa forma, será possível potencializar os benefícios desses insumos naturais e contribuir para uma agricultura mais sustentável e ecologicamente correta.

Nesse aspecto, o Programa Nacional de Bioinsumos oferece uma explicação mais aprofundada dos eixos e subeixos de atuação, bem como os tipos de bioinsumos nele contemplados (Policarpo *et al.*, 2023), conforme apresentados no Quadro 1. Tais eixos consituem uma ferramenta fundamental para promover a produção agrícola de forma mais eficiente e ambientalmente sustentável.

Quadro 1 – Descrição dos eixos e subeixos do Programa Nacional de Bioinsumos

Eixo 1 - Produção Vegetal
<p>Subeixo 1.1 - Controle de pragas e doenças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioacaricidas; biofungicidas; feromônios; bioinseticidas; outros ativos biológicos. <p>Subeixo 1.2 - Fertilidade de solo, nutrição de plantas e estresses abióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inoculantes; biofertilizantes; bioestimulantes; outros ativos biológicos. <p>Subeixo 1.3 - Manejo de espécies vegetais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento, uso e promoção de práticas, processos e tecnologias; outros ativos biológicos
Eixo 2 - Produção animal
<p>Subeixo 2.1 - Saúde animal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vacinas; fitoterápicos; outros imunógenos e terapêuticos de base biológica. <p>Subeixo 2.2: Alimentação animal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Probióticos; suplementos; rações; outros componentes de base biológica para alimentação animal. <p>Subeixo 2.3 - Produção aquícola</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ativos biológicos para: alimentação, sanidade, tratamento de efluentes; outras aplicações aquícolas. <p>Subeixo 2.4 - Manejo de animais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento, uso e promoção de práticas, processos, tecnologias; outros ativos biológicos aplicados
Eixo 3 - Pós-colheita e processamento
<p>Subeixo 3.1 - Pós-colheita de origem vegetal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Higienizantes; bioconservantes; embalagens; outros ativos biológicos. <p>Subeixo 3.2 - Processamento de produtos de origem animal e vegetal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sanitizantes; bioestabilizantes; biofilmes; outros ativos biológicos.

Fonte: Policarpo *et al.* (2023).

Os bioinsumos possuem características únicas que os distinguem dos insumos convencionais. Uma das características mais marcantes é sua origem biológica, dado que são derivados de organismos vivos, como microrganismos, plantas e produtos orgânicos, em oposição aos insumos químicos sintéticos (Vidal *et al.*, 2023).

Outra característica notável dos bioinsumos é a sua capacidade de interagir de forma benéfica com o ambiente agrícola (Ravi *et al.*, 2023). Por exemplo, os biofertilizantes e os microrganismos benéficos podem estabelecer relações simbióticas com as plantas, melhorando a absorção de nutrientes e a resistência delas a doenças; adicionalmente, muitos bioinsumos são menos tóxicos para o meio ambiente, reduzindo a poluição do solo e da água (Ravi *et al.*, 2023). Nesse sentido, o uso de bioinsumos pode contribuir para a sustentabilidade da agricultura, promovendo uma produção mais saudável e ecologicamente equilibrada. Por exemplo, a utilização de biopesticidas à base de microrganismos pode controlar pragas sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde humana.

Os bioinsumos também são conhecidos por sua capacidade de promover a saúde do solo à medida que podem melhorar a sua estrutura, aumentar sua capacidade de retenção de água e estimular a atividade microbiana benéfica existente nele. Essas características contribuem para a sustentabilidade a longo prazo da agricultura (Rezende *et al.*, 2021) e constituem, como já citado, uma alternativa mais sustentável em comparação com os fertilizantes químicos tradicionais, pois são produzidos a partir de fontes naturais renováveis, o que reduz os impactos ambientais da agricultura. Com o aumento da conscientização sobre a importância da preservação do meio ambiente, o uso de bioinsumos tem se tornado cada vez mais popular entre os agricultores em todo o mundo. Portanto, investir em bioinsumos não só beneficia a saúde do solo e das plantas, mas também contribui para a preservação dos recursos naturais e a redução da poluição no meio ambiente.

Por fim, os bioinsumos têm se destacado por sua versatilidade, pois podem ser aplicados de várias maneiras, incluindo pulverização foliar, tratamento de sementes e incorporação no solo, permitindo uma adaptação flexível às necessidades específicas de cada cultura e sistema agrícola (Ramos *et al.*, 2015).

Uma das ações do governo no âmbito do Programa Nacional de Bioinsumos, com enfoque institucional, foi a criação do INCT-MPCPAgro - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas Visando à Sustentabilidade Agrícola e à Responsabilidade Ambiental, coordenado pela Embrapa. Esse Instituto, composto por mais de 20 instituições de pesquisa ou de ensino e mais de 20 empresas do setor privado, tem por objetivo desenvolver e fomentar as pesquisas científica e tecnológica referentes ao uso de bioinsumos no país (Souza *et al.*, 2022).

Essa afirmação evidencia que o desenvolvimento e a pesquisa contínua relacionados aos bioinsumos envolvem uma variedade de instituições e empresas no Brasil e no mundo. Instituições acadêmicas, centros de pesquisa agrícola, laboratórios especializados e empresas de biotecnologia desempenham papéis cruciais na identificação de novas cepas microbianas, na formulação de produtos inovadores e na condução de estudos de campo (Maganda, 2023).

Empresas do setor agrícola estão colaborando para liderar pesquisas científicas sobre a eficácia dos bioinsumos em diferentes contextos. Essas pesquisas vão desde a identificação de microrganismos benéficos até a otimização de formulações e técnicas de aplicação (Policarpo *et al.*, 2023). No âmbito do Programa Nacional de Bioinsumos, foram estabelecidos inicialmente dez BioFabLabs em Goiás (pela Embrapa Arroz e Feijão) e em Minas Gerais (pelo Instituto Federal Norte de Minas - IFNM) para promover Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nessa área (Policarpo *et al.*, 2023).

Um exemplo de pesquisa e desenvolvimento sobre bioinsumos são os trabalhos desenvolvidos pela Embrapa, com 253 registros, por meio do seu Centro de Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN) e das coleções: Coleção de Culturas de Fungos Entomopatogênicos (CG), Banco de Germoplasma de *Bacillus* spp. (BGB) para controle biológico e Coleção de Culturas de Fitopatógenos e Agentes de Controle Biológico de Fitopatógenos (CFAF) (Sampaio *et al.*, 2021). Também tem destaque a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com 190 registros na Coleção de Culturas Micoteca (URM), com pesquisas para controle biológico.

Outro exemplos são os investimentos de empresas de biotecnologia, como a Agrivalle Brasil Indústria e Comercio de Produtos Agrícolas, a Bio Controle Métodos de Controle de Pragas, a Biovalens Uberaba, a Koppert do Brasil, a Ballagro Agro Tecnologia, a Simbiose

Indústria e Comércio de Fertilizantes Insumos Microbiológicos, dedicados na pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos. Essas empresas buscam criar produtos que atendem às necessidades específicas dos agricultores, oferecendo soluções personalizadas para diversas culturas e condições de solo (Martins Sampaio *et al.*, 2021).

Vantagens dos Bioinsumos

Conforme Costa (2023), os bioinsumos oferecem várias vantagens distintas que contribuem para sua crescente popularidade na agricultura sustentável, como por exemplo:

- redução da dependência de produtos químicos sintéticos: Os bioinsumos permitem a redução da utilização de fertilizantes e pesticidas químicos, o que contribui para a diminuição da poluição ambiental;
- melhoria da saúde do solo: ao promover a atividade microbiana benéfica e melhorar a estrutura do solo, os bioinsumos contribuem para a saúde e a fertilidade do solo a longo prazo;
- menor impacto ambiental: a utilização de bioinsumos pode reduzir a lixiviação de nutrientes e a contaminação de águas subterrâneas, minimizando os impactos ambientais negativos;
- aumento da resistência das plantas: bioinsumos, como biopesticidas e bioestimulantes, podem aumentar a resistência das plantas a pragas e doenças, reduzindo a necessidade de tratamentos químicos.

Essas vantagens têm contribuído para uma mudança significativa em direção à adoção de bioinsumos como parte integrante da agricultura moderna (Costa, 2023).

Desvantagens dos Bioinsumos

Apesar das muitas vantagens, os bioinsumos também apresentam algumas desvantagens que devem ser consideradas, como as descritas por Bueno e Torres (2022):

- efeito variável dependendo das condições ambientais: a eficácia dos bioinsumos é influenciada diretamente pelas condições ambientais. Umidades abaixo de 40% ou acima de 80% podem reduzir drasticamente a atividade microbiana, comprometendo em até 50% a eficácia do produto. Temperaturas inferiores a 10°C ou superiores a 35°C também podem

afetar negativamente a viabilidade dos microrganismos, reduzindo em até 30% sua capacidade de colonizar as raízes e promover o crescimento vegetal. A interação entre o bioinsumo, a planta e o solo é complexa e ainda pouco compreendida, exigindo mais pesquisas para otimizar o uso desses produtos em diferentes ambientes.

- custos iniciais mais altos: os custos iniciais associados à pesquisa, desenvolvimento e produção de bioinsumos podem ser mais altos em comparação com produtos químicos convencionais;
- necessidade de conhecimento técnico: a aplicação eficaz de bioinsumos muitas vezes requer conhecimento técnico específico, o que pode representar um desafio para alguns agricultores.
- tempo para resultados: alguns bioinsumos podem levar mais tempo para demonstrar resultados visíveis em comparação com produtos químicos sintéticos de ação rápida. No entanto, os bioinsumos muitas vezes oferecem benefícios a longo prazo para o solo e para o meio ambiente, enquanto os produtos químicos sintéticos podem causar danos a longo prazo.

Nesse sentido, é importante que agricultores e pesquisadores estejam cientes dessas desvantagens para garantir uma implementação bem-sucedida dos bioinsumos em sistemas agrícolas (Iwanicki *et al.*, 2022). Naturalmente, é fundamental que os agricultores recebam treinamento adequado sobre o uso correto dos bioinsumos e que os pesquisadores continuem estudando novas formas de aprimorar sua eficácia. Além disso, é crucial que haja um acompanhamento constante dos resultados obtidos com a utilização desses produtos, a fim de garantir a sustentabilidade e a viabilidade a longo prazo dos sistemas agrícolas. O conhecimento e a colaboração entre agricultores e pesquisadores são essenciais para o sucesso da implementação dos bioinsumos na agricultura.

Custos e Barreiras à Implementação dos Bioinsumos

Os custos associados aos bioinsumos podem variar amplamente, dependendo de fatores como o tipo de insumo, a escala de aplicação e a disponibilidade local (Cunha, 2023). Geralmente, os custos são mais altos durante as fases iniciais de pesquisa, desenvolvimento e produção, mas podem se tornar mais competitivos à medida que a demanda aumenta e a produção em larga escala se torna mais eficiente (Zugaib, 2023).

No entanto, existem várias barreiras à implementação dos bioinsumos que precisam ser superadas (Souza *et al.* 2022). Algumas das principais barreiras incluem:

- falta de regulamentação clara: no Brasil, a regulamentação em torno dos bioinsumos ainda não é clara ou está em desenvolvimento. Isso pode criar incertezas legais e regulatórias.
- resistência à mudança: a transição de métodos agrícolas convencionais para o uso de bioinsumos pode encontrar resistência por parte dos agricultores, que estão acostumados a práticas tradicionais.
- acesso a recursos e informações: em algumas regiões do Brasil, agricultores podem ter dificuldade em acessar os recursos e as informações necessárias para uso eficaz dos bioinsumos.
- custos iniciais elevados: os custos iniciais de aquisição de bioinsumos podem ser mais altos do que os produtos químicos tradicionais, o que pode ser uma barreira para agricultores com recursos limitados.

A superação dessas barreiras requer esforços coordenados de governos, instituições de pesquisa, empresas e organizações agrícolas para promover a conscientização, oferecer treinamento e desenvolver regulamentações adequadas (Vidal *et al.*, 2021).

Modelos de Aplicação e Culturas Utilizadas

Os bioinsumos podem ser aplicados de várias maneiras, dependendo dos objetivos agrícolas e das características das culturas. Os principais métodos de aplicação incluem (Bueno; Torres, 2022):

- pulverização foliar: muitos bioinsumos são aplicados diretamente nas folhas das plantas, permitindo uma rápida absorção e resposta. Isso é particularmente eficaz para bioestimulantes que visam melhorar o crescimento e a resistência das plantas.
- tratamento de sementes: alguns bioinsumos são aplicados às sementes antes do plantio, promovendo um início saudável para as plantas desde o momento em que germinam. Essa abordagem é comum com biofertilizantes e microrganismos benéficos.
- incorporação no solo: outros bioinsumos são incorporados ao solo, onde podem melhorar a saúde do solo e a disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo. Isso é frequentemente usado com biofertilizantes e microrganismos benéficos.

O uso de bioinsumos tem se mostrado extremamente vantajoso para diversas culturas agrícolas, como milho, soja, trigo, frutas, algodão e cana-de-açúcar. Portanto, o aumento da produtividade e a diminuição da dependência dessas e de outras culturas em relação ao uso de produtos químicos sintéticos são benefícios que têm atraído agricultores em todo o mundo. Dessa forma, é evidente que as vantagens dos bioinsumos estão sendo reconhecidas e aproveitadas por diferentes culturas agrícolas no planeta (Vidal *et al.*, 2021).

Tendências Futuras

O futuro dos bioinsumos parece promissor, impulsionado por várias tendências que moldarão a agricultura sustentável nas próximas décadas, tais tendências voltam-se a:

- **ênfase na agricultura sustentável:** com a crescente ênfase na agricultura sustentável, cada vez mais produtores estão optando por utilizar bioinsumos em suas plantações. Essa mudança é impulsionada pela conscientização dos impactos ambientais causados pela agricultura convencional e pela necessidade de adotar práticas mais sustentáveis para garantir a saúde do solo e dos ecossistemas.

- **avanços na pesquisa microbiana:** a pesquisa microbiana tem desempenhado um papel fundamental na melhoria da eficácia dos bioinsumos, com o desenvolvimento de novas cepas microbianas e uma melhor compreensão das interações planta-microrganismo. Isso tem contribuído para impulsionar a adoção de sistemas mais sustentáveis na agricultura, onde o uso de bioinsumos é cada vez mais valorizado. Com a crescente conscientização sobre os impactos ambientais da agricultura convencional, os produtores estão buscando alternativas mais sustentáveis para garantir a saúde do solo e dos ecossistemas.

- **políticas agrícolas favoráveis:** a adoção de políticas agrícolas que incentivem a agricultura sustentável e reduzam o uso de produtos químicos sintéticos é uma tendência crescente em muitos países. Essas políticas podem incluir incentivos financeiros para a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis, como o uso de bioinsumos e técnicas de manejo do solo que promovam a saúde do ecossistema. Além disso, a implementação de regulamentações mais rigorosas em relação ao uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos também está se tornando mais comum, visando a proteção da saúde humana e do meio ambiente (Cunha, 2023).

- **expansão da agricultura orgânica:** o aumento da demanda por alimentos

orgânicos que se encaixam perfeitamente nos princípios da agricultura orgânica. A agricultura orgânica está se expandindo para atender a essa demanda crescente, pois os consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade dos alimentos que consomem e com os impactos ambientais da produção agrícola convencional. Além disso, a agricultura orgânica promove práticas sustentáveis, como o uso de adubos naturais e a preservação da biodiversidade, contribuindo para a saúde do solo e dos ecossistemas. Com a crescente conscientização sobre os benefícios da agricultura orgânica, mais agricultores estão adotando essas práticas e contribuindo para a construção de um sistema agrícola mais sustentável e saudável.

- tecnologia e inovação: a aplicação de tecnologia e inovação na produção e distribuição de bioinsumos facilitará a ampliação de sua adoção em larga escala. Isso inclui o desenvolvimento de novas técnicas de produção, como a utilização de biofertilizantes e biopesticidas, além de sistemas de irrigação mais eficientes e sustentáveis. A tecnologia também pode auxiliar na rastreabilidade dos produtos orgânicos, garantindo a transparência e a confiança dos consumidores. Com a combinação de práticas sustentáveis e inovações tecnológicas, a agricultura orgânica tem o potencial de se tornar a principal forma de produção de alimentos no futuro, garantindo a segurança alimentar e a preservação do meio ambiente.

Conforme essas tendências se desenvolvem, é esperado que os bioinsumos desempenhem um papel cada vez mais crucial na promoção da agricultura sustentável e na redução dos impactos ambientais associados à produção de alimentos.

Considerações finais

O uso de bioinsumos na agricultura representa uma mudança paradigmática que busca equilibrar a necessidade de produção de alimentos em larga escala com a conservação do meio ambiente e a promoção da saúde do solo.

Neste estudo foram explorados o conceito, os tipos e as características desses insumos, a sua evolução ao longo do tempo, as instituições e empresas de pesquisa envolvidas em seu desenvolvimento, os modelos de aplicação, as culturas agrícolas beneficiadas, as vantagens e desvantagens de seu uso, as expectativas de custos, as barreiras ao uso e tendências para o futuro. A partir dessa análise, evidenciou-se que os bioinsumos desempenham um papel crucial para a sustentabilidade da agricultura.

Um dos aspectos mais notáveis dos bioinsumos está na sua capacidade de reduzir a dependência de culturas agrícolas de produtos químicos sintéticos. Essa redução tem o potencial de diminuir significativamente a poluição ambiental, a contaminação de águas subterrâneas e os impactos negativos na saúde humana. Ao melhorar a saúde do solo, aumentar a resistência das plantas a pragas e doenças, e promover a eficiência no uso de nutrientes, os bioinsumos contribuem para sistemas agrícolas mais equilibrados e sustentáveis.

Embora o uso de bioinsumos apresente muitas vantagens, ele também enfrenta desafios. A variação de eficácia em diferentes condições ambientais, custos iniciais mais altos e a necessidade de conhecimento técnico são desafios que os agricultores devem superar e os pesquisadores discutirem em seus trabalhos. Além disso, a falta de regulamentação clara e a resistência à mudança dos agricultores representam obstáculos que exigem cooperação entre governos, instituições e agricultores.

O cenário aqui apresentado demonstra que os bioinsumos desempenharão um papel cada vez mais central na agricultura sustentável. A crescente ênfase na agricultura orgânica e sustentável e os avanços contínuos na pesquisa microbiana e nas políticas agrícolas favoráveis indicam um horizonte promissor para os bioinsumos. Ademais, a tecnologia e a inovação na produção e distribuição desses insumos facilitarão sua adoção em larga escala.

Em última análise, os bioinsumos representam uma ponte entre a necessidade de alimentar uma população crescente e a necessidade de proteger o planeta. Eles incorporam a ideia de que a agricultura sustentável é possível, desde que se busque abordagens mais equilibradas e conscientes. Com o compromisso contínuo de agricultores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas, os bioinsumos têm o potencial de transformar a agricultura moderna, tornando-a mais ecológica e resiliente frente às demandas ambientais presentes e futuras.

Agradecimentos

Este estudo foi elaborado no âmbito do Projeto Cerrado, desenvolvido pelo Instituto Federal de Goiás (IFG), com recursos financeiros descentralizados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), por meio do TED 939472/2022, visando ao fortalecimento de cadeias produtivas na Região Centro-Oeste.

Referências

MAMANI M. A.; FILIPPONE, M. P. Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. **Revista Agrícola del Noroeste Argentino**, São Miguel de Tucumán, v. 38, n. 1, p. 9-21, jun. 2018.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 maio 2020. Seção 1.

BUENO, A. M. C; TORRES, D. A. P. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 e bioeconomia: oportunidades e potencialidades para atuação da Embrapa**. 1. ed. Brasília: Embrapa, Secretaria-Geral, 2022.

COSTA, A. R. **A transferência de tecnologia em controle biológico pelo PROBIO do Instituto Biológico**. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Instituto Biológico (IB-APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. São Paulo, 2023.

CUNHA, G. L. R. Agrotóxicos: aplicabilidade, impactos e alternativas para redução na utilização. 2023. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - **Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2022.

IWANICKI, N. S. *et al.* **Controle de qualidade de produtos microbiológicos**. 2022.

MANGANDA, A. **Tecnologias de Produção Inovadoras e Disruptivas Adotadas pelas Startups do Agronegócio na Cadeia de Valor na Transição para a Economia Circular**. 2023. 94f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2023.

MARTINS S. R. *et al.* **Tecnologias Biológicas: A Importância da Pesquisa Pública Agropecuária Para os bioinsumos no Brasil**, 1970. Disponível <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/184731>.

MAZARO, S. N. *et al.* Desafios na adoção de bioinsumos. *In: MEYER, M. C. et al. Bioinsumos na cultura da soja*. Brasília: Embrapa Soja, 2022. p. 3-12.

OLIVEIRA, K. **Bioprospeção de bactérias visando ativos biológicos para biofertilizantes**. 2023, 38f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Amazonas. 2023

POLICARPO, M. A. *et al.* **O Programa Nacional de Bioinsumos no âmbito da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica: origem, contribuições e potencialidades**. Texto para Discussão, n. 2933, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2023.

- Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 250 -265, dez. 2024. ISSN 1981-4089**
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2º. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.
- RAMOS, A. R. *et al.* Bioestimulante no condicionamento fisiológico e tratamento de sementes de feijão. **Revista Biociências**, v. 21, n. 1, p. 76-88. Taubaté, 2015.
- REZENDE, C. C. et al. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 2, pág. 1-15. 2021.
- RAVI, S. H., CHANDERKANT, T. Utility of Biofertilizers for Soil Sustainability. In: **Advances in Plant and Soil Sciences.** Singapore: Springer, p. 19. 2023
- SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P; MACEDO, L. O. B. Um marco institucional para os bioinsumos na agricultura brasileira baseado na economia ecológica. **Sustainability in Debate**, v. 13, n. 1, p. 266-285, 2022.
- VIDAL, M. C. *et al.* Bioinsumos: a construção de um programa nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.
- VIDAL, M. C.; DIAS, R. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 171-192, 2023.
- ZUGAIB, A. C. C. A bioeconomia circular como estratégia para agregação de valor à cacauicultura brasileira. **Revista Brasileira de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 1-15, jan./jun. 2023.