Uso de Bioinsumos em Sistemas de Agricultura de Larga Escala

Autor:

Thiago Macitelli

2019 Nuffield Brazil Scholar

Patrocinado por:

© 2019 Nuffield Brazil. All rights reserved.

This publication has been prepared in good faith on the basis of information available at the date of publication without any independent verification. Nuffield does not guarantee or warrant the accuracy, reliability, completeness, or currency of the information in this publication, nor its usefulness in achieving any purpose.

Readers are responsible for assessing the relevance and accuracy of the content of this publication. Nuffield will not be liable for any loss, damage, cost, or expense incurred or arising by reason of any person using or relying on the information in this publication.

Products may be identified by proprietary or trade names to help readers identify particular types of products, but this is not, and is not intended to be, an endorsement or recommendation of any product or manufacturer referred to. Other products may perform as well or better than those specifically referred to.

This publication is copyrighted. However, Nuffield encourages wide dissemination of its research, provided the organization is clearly acknowledged. For any inquiries concerning reproduction or acknowledgment, contact info@nuffield.com.br.

Scholar contact details

Name: Thiago Macitelli

Organization: HONRA - NOVAAG

Address: Rua Jose Lauer 40, São José dos Campos, SP CEP 12.244-660

Phone: + 55 - 66 - 9.9984.8381

Email: macitelli@hotmail.com / thiago.m@novaag.agr.br

Website: https://www.linkedin.com/in/thiago-macitelli/

Social media: https://www.instagram.com/thiagomacitelli/

https://www.facebook.com/thiagomacitelli/

In submitting this report, the Scholar has agreed to Nuffield publishing this material in its edited form.

NUFFIELD BRASIL Contact Details
Telephone: +55 (61) 99640 8888
Email: info@nuffield.com.br

Sobre o Programa Global de Pesquisa em Agronegócio Nuffield

Desde 1947, a rede Nuffield investe no desenvolvimento de lideranças do agronegócio em mais de 20 países, tendo apoiado diretamente mais de 2.000 profissionais ao redor do mundo. O programa conecta esses Nuffield Scholars a diferentes realidades globais, ampliando perspectivas, desafiando modelos mentais e fortalecendo sua atuação como agentes de transformação no curto, médio e longo prazo.

Seu principal instrumento é o Programa Global de Pesquisa em Agronegócio Nuffield, que seleciona anualmente cerca de 80 profissionais, com base em mérito, para conduzir investigações aplicadas sobre temas estratégicos para o agro. A abordagem é prática e orientada a resultados, fundamentada na exposição internacional, na comparação entre mercados e na análise crítica.

Ao longo de aproximadamente 500 horas de interação global — incluindo visitas a propriedades rurais, interação com a indústria e diálogo com stakeholders — os participantes constroem uma visão aprofundada, consolidada em um relatório final com recomendações relevantes para a tomada de decisão no setor.

A jornada inclui:

• ***Contemporary Scholars Conference (CSC):*** uma semana de imersão global que conecta cerca de 90 Scholars da mesma edição, com foco em liderança, rede e tendências do agronegócio

• ***Global Focus Program (GFP)*****:** uma experiência internacional intensiva de cinco semanas, em grupos de cerca de 10 Scholars, para comparativa de sistemas produtivos e dinâmicas de mercado em cinco países, distribuídos em três continentes

• **Pesquisa Individual:** seis semanas de investigação compreensão independente, baseada em evidências, com aprofundamento em um tema estratégico, apoiada pela rede global Nuffield

Essa trajetória é sustentada por mentoria ativa, acompanhamento estruturado e interação contínua com a rede internacional, patrocinadores e especialistas do setor.

Sobre a Associação Nuffield Brasil

Fundada em 2017, a Associação Nuffield Brasil é uma organização sem fins lucrativos reconhecida como Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP).

Em um contexto de crescente protagonismo do Brasil no cenário agro mundial, a Nuffield oferece uma plataforma estruturada para benchmarking internacional, aceleração de inovação e fortalecimento da capacidade estratégica de seus participantes. Seu foco está na formação de líderes preparados para navegar a complexidade do setor, conectar oportunidades globais e gerar impacto consistente no agro brasileiro.

Mais informações sobre o programa, inscrições, patrocinadores, perfis de Scholars e relatórios finais de participantes brasileiros e internacionais estão disponíveis em: www.nuffield.com.br

Sobre o Autor:



Thiago Macitelli é um engenheiro químico e empreendedor com mais de 25 anos de atuação nas indústrias e no agronegócio brasileiro, especializado em gestão, inovação e sustentabilidade. Com formação complementar em administração e vasta experiência em grandes culturas, sua trajetória profissional é marcada pela liderança em projetos que buscam conciliar alta produtividade com práticas agrícolas mais eficientes e resilientes, conforme refletido em seu perfil profissional

A jornada do *Nuffield Program*, iniciada em 2019, foi singularmente desafiadora e transformadora. Paralelamente ao compromisso acadêmico e às viagens internacionais, Thiago enfrentou quatro infecções por COVID-19, uma internação hospitalar de cinco meses devido a uma infecção pós-cirúrgica, o nascimento de dois filhos – o que expandiu sua família para quatro crianças –, dedicando-se ao matrimônio e à família, e a gestão contínua de seus empreendimentos no dinâmico mercado agro brasileiro. Esses eventos pessoais profundos não apenas testaram sua resiliência, mas também enriqueceram sua perspectiva sobre a importância de sistemas de produção robustos e da saúde integral, temas que ecoam em sua pesquisa.

A extensão temporal do programa, de 2019 a 2026, permitiu uma rara profundidade de observação e interação. A Tabela 1 a seguir resume uma seleção das principais experiências e visitas que fundamentaram esta investigação, oferecendo uma visão global dos bioinsumos em diferentes contextos em larga escala.

Tabela 1. Itinerário de Viagens

Travel date	Location	Visits/contacts
Mar 2019	Estados Unidos	Nuffield Contemporary Scholars Conference (CSC) IOWA e visitas a fazendas de soja e milho
Abr 2019	Brasil	Círculo de palestras do Grupo Associado de Agricultura Sustentável (GAAS)

Ago 2019	Brasil:	3º Fórum Brasileiro de Agricultura Sustentável
Mar 2020	Austrália	Nuffield Contemporary Scholars Conference (CSC) Brisbane Coast Tangalooma Island
Abr 2022	Holanda / Eslováquia	Visitas a fazendas
Mai 2023	Austrália	GFP: Fazendas, cooperativas, institutos de pesquisa e logística em Darwin e Kununurra
Mai 2023	Estados Unidos	GFP: Fazendas, universidade, institutos de pesquisa e indústrias agrícolas
Mai 2023	Holanda	GFP: Fazendas, banco, processamento de flores e alimentos
Mai 2023	Noruega	Fazendas, institutos de pesquisa, startups e sindicatos
Jun 2023	Canadá	Visitas a fazendas
Mar 2024	Brasil	Nuffield Contemporary Scholars Conference (CSC) Campo Grande MS
Ago 2024	Canadá	Fazendas e lojas
Jan 2025-26	Brasil	Visitas a biofábricas *on-farm* e propriedades em operação

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus pela força e pela oportunidade. À minha família, pelo apoio incondicional e pela paciência durante os longos períodos de viagem e de escrita. Ao Grupo Bom Futuro do Mato Grosso, pelo patrocínio visionário e pela paixão compartilhada por uma agricultura profissional e inovadora. À Sally, embaixadora da Nuffield no Brasil, pelo suporte incansável e pela orientação. Por fim, à Nuffield International e à Nuffield Brasil, às instituições e aos colegas (Figura 1) que não apenas proporcionaram esta oportunidade única de aprendizado global, mas também cultivam uma rede de líderes comprometidos com o futuro da agricultura.



Figural 1. Thiago e seu grupo GFP visitando uma fazenda de leite na Noruega.

Sumário

Sobre o Programa Global de Pesquisa em Agronegócio Nuffield **2**

Sobre a Associação Nuffield Brasil **2**

Sobre o Autor: **3**

Agradecimentos **5**

Abreviações: **10**

Sumário Executivo **11**

Executive Summary **12**

1. Objetivos **13**

2. Introdução **14**

2.1. Contexto Global e Brasileiro da Agricultura em Larga Escala 14

2.2. Por Que Bioestimulantes e Controle Microbiológico Agora? 14

2.3. Pergunta de Pesquisa e Delimitação do Escopo:..... 14

3. Conceitos, Tecnologias e Fronteiras da Microbiologia Aplicada..... 14

3.1. O que são bioestimulantes e biológicos? 14

3.2. Microbiologia De Solo Em Sistemas De Alta Produtividade 15

3.3. Bioinsumos 15

3.3.1. Fertilizantes Especiais: Tratamento Holístico 16

3.3.2. Fermentados on-farm (*compost tea/fertibokashi*) e compostagem aditivada com minerais e micro-organismos (biocompostagem)..... 19

3.4. Crescimento do Mercado: evidência concreta da mudança 20

3.5. Evidências Científicas e Técnicas..... 21

3.5.1. O que já está consolidado (benefícios mais robustos)..... 21

3.5.2. O que ainda é promissor, mas incerto 22

3.5.3. Riscos de hype e “água de batata” (“snake oil”): como separar ciência de marketing 22

4. Drivers, Barreiras e Economia dos Sistemas Biológicos em Grande Escala 23

4.1. Drivers Globais e Nacionais 23

4.1.1. Clima, biodiversidade, água e pressão regulatória 23

4.1.2. Cadeias de suprimento, clientes corporativos e “circularidade” (adaptando o Circular Farm do Steer)..... 23

4.2. Bioinsumos em operações de larga escala 24

4.3. Barreiras à Adoção em Sistemas de Grande Escala 24

4.4. Estruturas que habilitam adoção..... 25

5. Estudos de Caso Internacionais em Sistemas de Alta Escala 25
5.1. América do Norte 25
5.2. Europa 26
5.3. Oceania / Outros Países 27
5.4. O que cesses casos têm em comum 28
5.4.1. Padrões de sucesso técnico: 28
5.4.2. Padrões de sucesso econômico: 28
5.4.3. Padrões de governança e decisão: 28
6. Estudos de caso e aprendizados para o contexto brasileiro 29
6.1. Perfis de "Large-Scale Farming" no Brasil 29
6.1.1. Grãos, fibras, cana e pecuária intensiva 29
6.1.2. Estrutura de decisão: grupos empresariais, fundos, produtores-gestores 31
6.2. Casos de uso de bioinsumos e controle microbiológico em larga escala 31
6.3. Comparando Brasil com os casos internacionais 34
6.4. Modelo de "fazenda circular e biológica". Faz sentido aqui? 34
6.5. Biológicos *on-farm* 35
6.5.1. Limites técnicos da produção *on-farm*. 37
6.5.2. Regulação, segurança e risco 38
6.5.3. Fatores econômicos e de gestão 38
7. Desenho de sistemas: como integrar bioestimulantes e microbiologia na gestão da fazenda 39
7.1. Princípios de desenho de sistemas biológicos em larga escala 39
7.1.1. "Design, não default" 39
7.2. Ferramentas Práticas para o Gestor 39
7.3. Estratégias de Escala e Gestão de Risco 40
7.4. Elementos de governança e tomada de decisão 41
8. Conclusões 42
Síntese Final 43
9. Recomendações 44
9.1. Recomendações para produtores de grande escala 44
9.2. Recomendações para indústria de insumos e serviços 44
9.3. Recomendações para pesquisa, políticas públicas e financiadores 45
Referências 46
10. Anexos 1

Índice de Ilustrações

Figural 1. Thiago e seu grupo GFP visitando uma fazenda de leite na Noruega. 5

Figural 2. Fertilizantes especiais, em sinergia com os bioinsumos e com os problemas reais da agricultura. 18

Figural 3. Fermentação on-farm de biofertilizante com comunidade de micro-organismos, Fazenda Americana/Três Irmãos, Daniel Girello, produtor rural em Primavera do Leste, MT, Brasil. 19

Figural 4. Visita a campo de compostagem e plantações de frutas com manejos sustentáveis na região de Darwin – Norte da Austrália 2022. 20

Figural 5. Pátio de biocompostagem e fabricação de “adubo on-farm” Fazenda Americana/Três Irmãos, Daniel Girello, produtor rural em Primavera do Leste MT Brasil 20

Figura 6. Evolução do mercado de biodefensivos no mundo. 21

Figura 7. Doses de inoculantes e número de empresas (Associação Nacional de Promoção e Inovação da Indústria de Biológicos, 2025). 22

Figura 8. Alusão ao charlatanismo que pode assolar mercado 23

Figura 9. Ilustração de pontos-chave da utilização de bioinsumos em operações de larga escala 24

Figura 10. Palestrante do Nuffield CSC 2019 IOWA USA – Gary F. Zimmer..... 25

Figura 11. Gabe Brown 26

Figura 12. Gravura de John Kempf, como ele prefere se apresentar 26

Figura 13. Dra. Elaine Ingham e os conceitos da rede de alimentos do solo “Soil Foodweb” 27

Figura 14. Thiago visita fazenda de algodão em Kununurra -Australia que havia grande evidência de micorrizas no solo. Foto com Luke McKay Nuffield Australia 2018 Scholar 28

Figura 15. Distribuição da amostra da Pesquisa. Amostra consistente com dados do censo e ponderada para grandes propriedades. (BCG Consulting , 2025). 29

Figura 16. Perfil dos produtores rurais brasileiros, segregado por sistema produtivo, idade, visão de sustentabilidade, adoção de tecnologia e preferências de investimento. Fonte: (BOSCHIERO, 2025) adaptado de (BCG Consulting , 2025). 30

Figura 17. Os 7 perfis do produtor rural brasileiro, com suas respectivas motivações e prioridades no setor agropecuário. Fonte: (BOSCHIERO, 2025) adaptado de (BCG Consulting , 2025). 31

Figura 18. Biofábrica on-farm na Fazenda Três Lagoas do Grupo Scheffer, em Sapezal, Mato Grosso, Brasil. 32

Figura 19. Biofábrica on-farm na fazenda Fartura, do Grupo Bom Futuro, em Campo Verde, Mato Grosso – Brasil. 32

Figura 20. Discussão entre produtores e especialistas sobre as tendências do mercado e a Agricultura Tropical Regenerativa no Brasil – 5º Fórum do GAAS – 2025 – SINOP, MT, Brasil. 33

Figura 21. Alguns dos números da Native (BrasilAgro, 2018). 33

Figura 22. Conceito de fazenda circular. 35

Figura 23. Equipamentos on-farm Bioevolve do Grupo Innovar com automação e qualidade do bioinsumos fabricados. 36

Figura 24. Ilustração do sumário e das conclusões sobre bioinsumos na agricultura de larga escala. 44

Figura 25. Mapa Mental de Bioinsumos na Agricultura de Larga Escala: Do “Produto Mágico” ao Desenho de Sistema 1

Figura 26. Mapa Mental de Bioinsumos na Agricultura de Larga Escala: Do “Produto Mágico” ao Desenho de Sistema 2

Abreviações:

BCG: Boston Consulting Group

CST: Contemporary Scholars Conference

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisas Agrícolas

ESG: Ambiental, Social e Governança

GAAS: Grupo Associado de Agricultura Sustentável

GFP: Global Focus Group

GPS: Global Positioning System

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta

MT: Mato Grosso, estado do Brasil

N, P e K: nitrogênio, fósforo e potássio

pH: Potencial Hidrogeniônico

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

POPs: Procedimento Operacional Padrão

RNAi: ácido ribonucleico de interferência

ROI: retorno sobre o investimento

Sumário Executivo

Este relatório analisa o uso de bioinsumos – especialmente bioestimulantes e insumos microbianos – em sistemas de agricultura de larga escala no Brasil e no exterior, buscando separar evidências sólidas de promessas ainda em teste. A partir de revisão técnica, viagens internacionais e estudos de caso em grandes fazendas, a conclusão central é que bioinsumos já têm usos bem definidos em algumas situações (como inoculantes para leguminosas, micorrizas em solos pobres em fósforo e alguns biodefensivos), mas sua entrega em escala depende fortemente do contexto, do desenho de manejo e da governança.

O trabalho descreve três movimentos principais. Primeiro, a consolidação de usos maduros (inoculantes em soja e cana, biocontrole em alguns alvos, e certos programas de fertilizantes especiais, desenhados a partir da variabilidade da fazenda). Segundo a expansão de práticas como compostagem aditivada, biofertilizantes líquidos e consórcios microbianos, muitas vezes ligadas a modelos de fazenda circular e integração lavoura-pecuária-floresta. Terceiro, o crescimento da produção de biológicos on-farm, agora respaldada por regulamentação específica, com forte motivação econômica, mas desafios claros de padronização, qualidade e responsabilidade técnica.

Os casos visitados na América do Norte, na Europa, na Oceania e no Brasil convergem em alguns padrões. Tecnologicamente, os resultados mais consistentes aparecem quando bioinsumos são introduzidos como parte de um pacote de práticas (solo, planta, clima, logística) e não como "produto mágico". Economicamente, as soluções escaláveis são de investimento moderado, com ROI compreensível e baixa demanda por maquinário adicional. Em governança, os casos bem-sucedidos têm em comum decisões intencionais de inovar, testar em áreas-piloto, medir com rigor e escalar ou recuar de acordo com os dados, não com a narrativa comercial.

Um ponto crítico é o desenho dos testes em campo. Em grandes áreas, pequenos ganhos físicos podem se perder na variabilidade natural do talhão se não houver faixas-teste bem definidas, testemunhas claras e pelo menos duas safras de avaliação. Por isso, o relatório enfatiza que bioinsumos devem ser avaliados com métricas mais amplas do que as de sacas/ha: estabilidade interanual, margem operacional, indicadores básicos do solo e risco operacional. Sem esse rigor, as decisões acabam oscilando entre entusiasmo acrítico e rejeição prematura, gerando desperdício de tempo e de capital.

As conclusões organizam o aprendizado em três camadas: o que é robusto hoje (inoculantes, alguns biocontroles, aplicações pontuais de bioestimulantes e programas de fertilizantes especiais bem desenhados), o que é promissor (microbiologia aplicada de solo, fazendas circulares, on-farm bem estruturado) e o que ainda não sabemos (impacto econômico agregado em centenas de milhares de hectares, efeitos de longo prazo na resiliência e limites regulatórios e de mercado). A mensagem final ao produtor de grande escala é de pragmatismo informado: começar por problemas concretos, testar com método, escalar com critério e lembrar que bioinsumos não substituem um bom sistema de produção – apenas potencializam aquilo que já está bem desenhado.

Keywords: agricultura, bioinsumos, biológicos, larga escala, sustentabilidade

Executive Summary

This report analyzes the use of bio-inputs – especially bio stimulants and microbial inputs – in large-scale agricultural systems in Brazil and abroad, seeking to separate solid evidence from promises still under testing. Based on technical review, international trips, and case studies on large farms, the central conclusion is that bio-inputs already have well-defined uses in some situations (such as inoculants for legumes, mycorrhizae in phosphorus-poor soils, and some biopesticides), but their delivery at scale depends heavily on context, management design, and governance.

The work describes three main trends. First, the consolidation of mature uses (inoculants for soybeans and sugarcane, biocontrol for certain targets, and certain special fertilizer programs designed based on-farm variability). Second, the expansion of practices such as additive composting, liquid biofertilizers, and microbial consortia, often linked to circular farm models and crop-livestock-forestry integration. Third, the growth of on-farm biological production is now supported by specific regulations and strong economic incentives but faces clear challenges in standardization, quality, and technical responsibility.

The cases visited in North America, Europe, Oceania, and Brazil converge on some patterns. Technologically, the most consistent results are achieved when bio-inputs are introduced as part of a package of practices (soil, plant, climate, logistics) rather than as a "magic product." Economically, the solutions that scale are those with moderate investment, clear ROI, and minimal need for additional machinery. In governance, successful cases have in common intentional decisions to innovate, test in pilot areas, measure rigorously, and scale up or down based on data, not a commercial narrative.

A critical point is the design of field tests. In large areas, small physical gains can be lost in the natural variability of the plot if there are no well-defined test strips, clear controls, and at least two evaluation seasons. Therefore, the report emphasizes that bio-inputs should be evaluated using broader metrics than bags/ha, including interannual stability, operating margin, basic soil indicators, and operational risk. Without this rigor, decisions oscillate between uncritical enthusiasm and premature rejection, wasting time and capital.

The conclusions organize the learnings into three layers: what is robust today (inoculants, some bio controls, targeted applications of bio stimulants, and well-designed special fertilizer programs), what is promising (applied soil microbiology, circular farms, well-structured on-farm systems), and what we still don't know (aggregate economic impact on hundreds of thousands of hectares, long-term effects on resilience, and regulatory and market limitations). The final message to large-scale producers is one of informed pragmatism: start with concrete problems, test methodically, scale judiciously, and remember that bio-inputs do not replace a good production system – they only enhance what is already well-designed.

Keywords: agriculture, bio-inputs, biologicals, large scale, sustainability

1. Objetivos

O objetivo deste estudo é analisar o papel dos bioinsumos, como bioestimulantes e insumos microbianos, em sistemas de agricultura de grande escala, no Brasil e no exterior, identificando em que contextos eles geram valor real para o produtor e para a cadeia produtiva.

- Mapear como grandes produtores em diferentes países vêm adotando bioinsumos, como bioestimulantes, inoculantes e outros insumos biológicos/microbianos, em culturas em larga escala, e quais resultados agronômicos e econômicos reportam.
- Identificar os fatores de contexto (solo, clima, sistema de manejo, perfil de gestão e de assessoramento técnico) que diferenciam situações de sucesso de casos em que esses produtos não entregam o prometido.
- Avaliar de que forma as empresas de insumos e de consultorias técnicas estão migrando de uma lógica de “produto isolado” para abordagens de manejo integrado e de tratamento holístico do sistema produtivo, com foco em larga escala.
- Discutir oportunidades e riscos da adoção de bioestimulantes e da microbiologia do solo em sistemas de grande escala no Brasil, incluindo aspectos de rentabilidade, mensuração de impacto, comunicação técnica e regulação.
- Propor recomendações práticas e gerais para produtores, consultores, empresas e formuladores de políticas sobre como incorporar bioinsumos às estratégias de intensificação sustentável, evitando tanto o ceticismo infundado quanto o entusiasmo acrítico.

2. Introdução

2.1. Contexto Global e Brasileiro da Agricultura em Larga Escala

A população global projetada para atingir 9,7 bilhões em 2050 impõe uma demanda crescente por alimentos, fibras e energia, pressionando os sistemas agrícolas a alcançar maior produtividade (Mariane Carvalho Vidal, 2023). No Brasil, este desafio se traduz na **expansão e intensificação contínuas de commodities** como soja, milho, algodão e cana-de-açúcar, frequentemente em propriedades que operam com dezenas de milhares de hectares. Esta escala de operação não é apenas uma característica logística, mas também um fator determinante que molda as escolhas tecnológicas, a gestão de risco e a adoção de inovações.

2.2. Por Que Bioestimulantes e Controle Microbiológico Agora?

Há uma percepção crescente de que os ganhos de produtividade apenas com insumos convencionais estão atingindo um platô, enquanto os **custos de produção e a pressão pela sustentabilidade aumentam** (CropLife Brasil, 2026). Simultaneamente, avanços na microbiologia e uma compreensão mais profunda da rizosfera revelam um **vasto potencial ainda não explorado**. Bioinsumos emergem como ferramentas promissoras para aumentar a eficiência no uso de recursos (nutrientes e água), melhorar a tolerância a estresses e reduzir a dependência de insumos sintéticos, alinhando-se à busca por uma intensificação sustentável.

2.3. Pergunta de Pesquisa e Delimitação do Escopo:

Este relatório busca responder à pergunta central: **o uso de bioinsumos em sistemas de agricultura de larga escala** é uma estratégia robusta para ganhos de eficiência e resiliência, ou um conjunto de soluções ainda limitado a nichos e condições ideais? O escopo está deliberadamente focado em grandes propriedades comerciais (grãos, fibras, cana), nas quais as decisões são guiadas por análise de risco, logística complexa e retorno sobre o investimento claro, distanciando-se de discussões puramente teóricas ou aplicáveis apenas à agricultura familiar ou orgânica.

3. Conceitos, Tecnologias e Fronteiras da Microbiologia Aplicada

3.1. O que são bioestimulantes e biológicos?

Não há uma definição universal, mas há conceitos-chave que orientam o setor. A Embrapa define bioinsumos como "produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana, destinados ao uso na produção agrícola" (EMBRAPA, 2026)

A Croplife Brasil e associações internacionais frequentemente separam **biodefensivos** (controle de pragas e doenças) e **bioestimulantes** (substâncias ou microrganismos que melhoram o metabolismo vegetal, independentemente de seu teor nutricional). Para este relatório, adota-se uma visão ampla de bioinsumos, englobando inoculantes, bioestimulantes, agentes de biocontrole e fertilizantes especiais aplicados em larga escala.

3.2. Microbiologia De Solo Em Sistemas De Alta Produtividade

Em sistemas de alta produtividade, o solo não é um mero substrato, mas um ecossistema dinâmico. A microbiologia do solo é o motor dos ciclos de nutrientes (como nitrogênio e fósforo), da formação de agregados que melhoram a estrutura física e da supressão natural de patógenos. Práticas como o plantio direto bem manejado e a rotação de culturas sustentam essa biota. Bioinsumos, quando bem aplicados, podem atuar como "inoculantes" ou "catalisadores" para modular comunidades microbianas benéficas, potencializando processos naturais em favor da produtividade e da estabilidade da lavoura.

3.3. Bioinsumos

Principais categorias de produtos biológicos e bioestimulantes (Tabela 2).

Tabela 2. Principais categorias de produtos biológicos e bioestimulantes

Tipo de Bioinsumo	Descrição	Impacto sustentável	Exemplo
Inoculantes	Contêm microrganismos vivos que promovem a fixação biológica de nitrogênio e auxiliam na absorção de nutrientes.	Redução do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos e melhoria da saúde do solo.	Aplicação de bactérias do gênero Rhizobium em sementes de soja para fixação biológica de nitrogênio.
Bio-fertilizantes	Produtos que melhoram a fertilidade do solo e estimulam a microbiota benéfica.	Diminuição da dependência de fertilizantes químicos e maior equilíbrio biológico do solo.	Uso de compostos líquidos ou sólidos contendo matéria orgânica e microrganismos benéficos que melhoram a fertilidade do solo.
Agentes de controle biológico	Organismos ou substâncias naturais que	Substituição de defensivos químicos, preservando inimigos	Utilização da bactéria *Bacillus thuringiensis* como bioinseticida para

	controlam pragas e doenças de forma sustentável.	naturais e reduzindo resíduos.	controlar lagartas em culturas como milho e algodão.
Solubilizadores de nutrientes	Transformam nutrientes pouco disponíveis no solo (como fósforo) em formas assimiláveis pelas plantas.	Aumento da eficiência do uso de nutrientes e menor lixiviação para o ambiente.	Emprego de *Bacillus megaterium* para solubilizar fósforo no solo, tornando-o disponível às plantas.
Bio-estimulantes	Substâncias que favorecem o crescimento vegetal e aumentam a tolerância a estresses abióticos.	Aprimoramento da produtividade com menor uso de insumos sintéticos.	Aplicação de ácido húmico ou extratos de algas marinhas para estimular o crescimento e a resistência das plantas.
Semio-químicos e bioquímicos	Compostos naturais que influenciam o comportamento de insetos e microrganismos.	Controle seletivo de pragas com menor impacto ambiental.	Uso de feromônios sexuais sintéticos em armadilhas para atrair e monitorar pragas como a traça-do-tomateiro.
Bioinsumos para produção animal e aquícola	Produtos utilizados para melhorar a saúde e nutrição de animais e organismos aquáticos.	Promoção do bem-estar animal e redução do uso de antibióticos.	Incorporação de probióticos na alimentação de peixes em sistemas de aquicultura para melhorar a saúde intestinal e o ganho de peso.
Tecnologias pós-colheita	Biofilmes e compostos que reduzem perdas e prolongam a vida útil dos produtos agrícolas após a colheita.	Menor desperdício de alimentos e redução de perdas na cadeia agroalimentar.	Aplicação de biofilmes comestíveis sobre frutas frescas, como maçãs ou mangas, para prolongar sua vida útil após a colheita.

3.3.1. Fertilizantes Especiais: Tratamento Holístico

A expansão recente do mercado de “fertilizantes especiais” – que inclui inoculantes microbianos, bioestimulantes, ácidos húmicos e fúlvicos, extratos de algas e misturas foliares de alta concentração – criou um novo conjunto de possibilidades e riscos para sistemas em grande escala.

Em tese, esses insumos prometem melhorar a eficiência no uso de N, P e K, reduzir perdas por volatilização e lixiviação, aumentar o crescimento radicular, modular o balanço hormonal das plantas e tornar o sistema mais resiliente a estresses bióticos e abióticos. Na prática, porém, sobretudo em fazendas com dezenas de milhares de hectares, a adoção ocorre em um ambiente de alta complexidade operacional, grande variabilidade do solo e do clima e forte pressão por resultados de curto prazo. É justamente nessa interseção entre a promessa tecnológica e a realidade de campo que o conceito de “tratamento holístico” de fertilidade e bioestimulação torna-se crítico.

Do ponto de vista biológico, muitos dos fertilizantes especiais atuam em mecanismos relativamente específicos: fornecimento de carbono de fácil acesso, complexação de nutrientes, estímulo hormonal em janelas sensíveis do ciclo da cultura, aumento da atividade microbiana na rizosfera ou mitigação de estresses como seca, encharcamento e fitotoxicidade.

Em ambientes controlados, de pequena escala, esses mecanismos são mais fáceis de isolar, testar e ajustar. Em grandes propriedades, entretanto, os mesmos produtos precisam “conversar” com uma série de outros fatores: diferentes históricos de manejo, contrastes de textura e de profundidade do solo, janelas estreitas de operação, qualidade da aplicação, logística de tanques, misturas e reabastecimento, além da convivência com programas de adubação mineral, defensivos e reguladores de crescimento. O potencial agronômico do insumo, isoladamente, passa a ser apenas uma parte da equação.

Há também uma dimensão claramente econômica e de gestão de risco. Programas de fertilizantes especiais são frequentemente apresentados como investimentos de alto retorno, com promessas de aumentos de produtividade ou de eficiência no uso de nutrientes muito acima da média.

Em propriedades de grande escala, no entanto, pequenas diferenças de resposta física (por exemplo, alguns sacos por hectare a mais ou a menos) podem se diluir na variabilidade natural da área e ser difíceis de detectar com segurança estatística, especialmente quando o desenho experimental é frágil ou inexistente. Ao mesmo tempo, o custo por hectare, quando multiplicado por dezenas de milhares de hectares, rapidamente se transforma em uma linha relevante no orçamento. Isso exige maior disciplina na definição de hipóteses, no desenho de faixas-teste e no controle de variáveis, além de uma interpretação criteriosa dos resultados ao longo de várias safras.

Outro ponto sensível é a gestão das expectativas quanto ao papel desses insumos no sistema. Fertilizantes especiais, por mais sofisticados que sejam, não substituem a correção da acidez, o manejo da compactação, a rotação de culturas, a adubação de base bem dimensionada ou a cobertura do solo. Quando são utilizados como tentativa de compensar falhas estruturais do sistema – por exemplo, tentando “corrigir pelo foliar” deficiências crônicas de fertilidade ou problemas físicos de solo – a probabilidade de frustração é elevada.

Diversas das experiências visitadas mostram que, onde a base agronômica é frágil, bioestimulantes e coadjuvantes dificilmente entregarão o resultado prometido, porque tentam “empurrar” um sistema estruturalmente limitado. Em contrapartida, onde já existe um esforço consistente em rotação, cobertura do solo, manejo da matéria orgânica e

correção química adequada, esses insumos podem funcionar como alavancas finas para ganhos de eficiência ou de resiliência. Em grande escala, portanto, a pergunta-chave deixa de ser *"qual produto funciona?"* e passa a ser *"em que contexto agronômico e de gestão este tipo de insumo faz sentido, com qual objetivo mensurável e com qual desenho de decisão?".*

Um exemplo concreto dessa lógica é o trabalho de empresas brasileiras que se propõem a desenhar programas de fertilizantes especiais direcionados a grandes propriedades do Centro-Oeste, integrando diferentes mecanismos de ação, em vez de apostar em um único produto (Figura 2).



Figural 2. Fertilizantes especiais, em sinergia com os bioinsumos e com os problemas reais da agricultura.

A empresa **NVA-NOVAAG** com sede em São Paulo e unidades no Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais e a empresa **AMBIOS** com sede no Mato Grosso, por exemplo, atuam nesse espaço ao construir programas que partem do mapa de variabilidade da fazenda e de objetivos agronômicos claros para cada ambiente (como estabilizar produção em áreas mais arenosas, explorar teto produtivo em baixadas mais férteis ou reduzir o impacto de déficits hídricos recorrentes em determinados talhões).

A partir desse diagnóstico, o pacote de "fertilizantes especiais" é estruturado combinando fontes de carbono, agentes complexantes, bioestimulantes, micronutrientes e, quando pertinente, soluções de base biológica, sempre ancorado em dados de solo, planta e histórico de manejo. Experiências desse tipo, com abordagem holística e orientada a sistemas, têm relatado não apenas ganhos agronômicos, mas também crescimento consistente de adoção entre produtores de grande escala – justamente porque respondem à complexidade real das grandes propriedades e não oferecem respostas simplistas para problemas complexos.

3.3.2. Fermentados *on-farm* (*compost tea/fertibokashi*) e compostagem aditivada com minerais e micro-organismos (biocompostagem)

Fermentados *on-farm*, como *compost tea* (chá de composto) e *fertibokashi*, são preparados artesanais ou semiartesanais que utilizam a fermentação controlada de materiais orgânicos (estercos, farelos, melaço) para multiplicar microrganismos benéficos e gerar bioativos. Seu fundamento está na rápida introdução de uma comunidade microbiana diversificada no solo ou na planta.

A utilização em larga escala esbarra na padronização, no controle de qualidade e na logística de produção, mas representa uma tendência de apropriação do processo biológico pelo produtor, reduzindo custos e aumentando a autonomia (Figura 3).



Figural 3. Fermentação on-farm de biofertilizante com comunidade de micro-organismos, Fazenda Americana/Três Irmãos, Daniel Girello, produtor rural em Primavera do Leste, MT, Brasil.

A biocompostagem é uma compostagem aditivada com minerais e micro-organismos que consiste na decomposição de resíduos orgânicos à qual se incorporam fontes minerais (como pó de rocha, fosfatos naturais ou micronutrientes) e inoculantes microbianos específicos, com o objetivo de acelerar o processo, aumentar a estabilidade do composto e enriquecer seu valor nutricional para as plantas (Figura 4).




Figural 4. Visita a campo de compostagem e plantações de frutas com manejos sustentáveis na região de Darwin – Norte da Austrália 2022.

Apesar de seu grande potencial para melhorar a fertilidade do solo e a eficiência no uso de nutrientes, sua utilização em larga escala na agricultura enfrenta desafios importantes, como a necessidade de controle mais rigoroso das condições de processo, custos adicionais com insumos e inoculantes, demanda por conhecimento técnico especializado, dificuldade de padronizar a qualidade em grandes volumes e barreiras logísticas à produção, ao transporte e à aplicação em sistemas agrícolas extensivos (Figura 5).



Figural 5. Pátio de biocompostagem e fabricação de "adubo on-farm" Fazenda Americana/Três Irmãos, Daniel Girello, produtor rural em Primavera do Leste MT Brasil

3.4. Crescimento do Mercado: evidência concreta da mudança

O mercado global de bioestimulantes deve crescer de USD 3,2 bilhões em 2022 para USD 5,6 bilhões até 2027, a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 11,9% (INSPER, 25). No Brasil, o mercado de biodefensivos movimentou R$ 2,3 bilhões na safra 2022/23, com crescimento de mais de 40% em relação ao ciclo anterior,

e a expectativa é que atinja R$ 4,9 bilhões até 2030 (Secretaria de Defesa Agropecuária, 2025).

Na China, políticas governamentais de redução do uso de fertilizantes químicos impulsionam o setor, enquanto, na Austrália, a adoção é motivada por desafios de saúde do solo e de seca. A Figura 6 ilustra a evolução do mercado de biodefensivos no mundo.

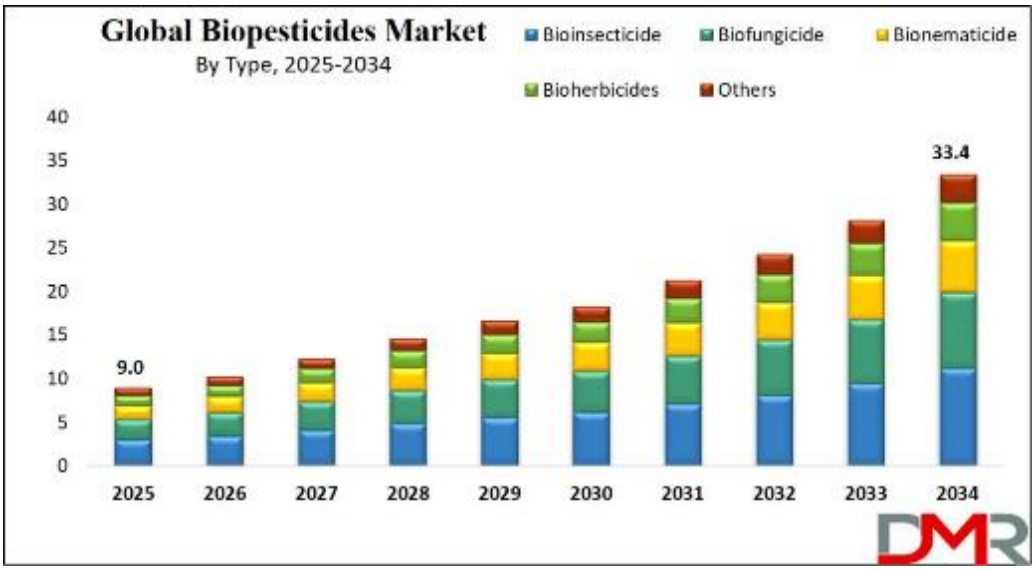

Figura 6. Evolução do mercado de biodefensivos no mundo.

3.5. Evidências Científicas e Técnicas

3.5.1. O que já está consolidado (benefícios mais robustos)

A fixação biológica de nitrogênio em soja por meio de inoculantes de rizóbio é uma tecnologia totalmente consolidada, responsável por economias bilionárias em fertilizantes nitrogenados no Brasil, com décadas de uso e volumes massivos. Inoculantes para cana-de-açúcar (por exemplo, com bactérias como *Gluconacetobacter diazotrophicus*) também têm comprovação sólida de aumento de produtividade. Agentes de biocontrole, como *Bacillus thuringiensis* (Bt) e *Trichoderma harzianum* , possuem eficácia comprovada contra lagartas e alguns patógenos do solo, respectivamente, sendo amplamente utilizados (Figura 7).

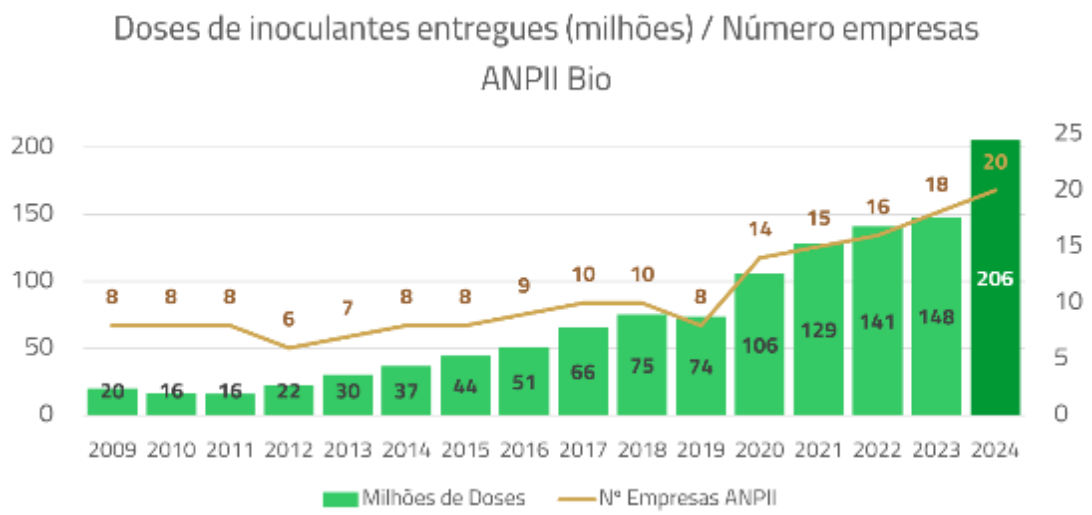

Figura 7. Doses de inoculantes e número de empresas (Associação Nacional de Promoção e Inovação da Indústria de Biológicos, 2025).

3.5.2. O que ainda é promissor, mas incerto

Tecnologias baseadas em RNA de interferência (RNAi) para silenciamento de genes em pragas, o uso de metabólitos microbianos específicos (e não do microrganismo vivo) e a aplicação tópica de hormônios ou precursores hormonais sintetizados por vias biotecnológicas são áreas de fronteira. Prometem alta especificidade e uma nova modalidade de ação, mas enfrentam desafios de custo de produção, estabilidade em campo, regulação e potencial de resistência, e ainda se mantêm em fase de pesquisa avançada ou de lançamento inicial.

3.5.3. Riscos de hype e "água de batata" ("*snake oil*"): como separar ciência de marketing

O rápido crescimento do mercado atrai promessas exageradas. Separar ciência de marketing exige olhar para a consistência dos resultados ao longo de várias safras e locais e para a existência de parcerias duradouras entre empresas e produtores de referência. Produtos que se consolidam geralmente possuem mecanismo de ação claro, protocolos de uso bem definidos e dados de pesquisa provenientes de fontes independentes (universidades, institutos públicos). A cultura do extensionismo e da experimentação *on-farm* rigorosa – testar em pequena escala antes de escalar – é a principal ferramenta do produtor para mitigar este risco. A Figura 8 alude ao charlatanismo que pode assolar o mercado.



Figura 8. Alusão ao charlatanismo que pode assolar mercado

4. Drivers, Barreiras e Economia dos Sistemas Biológicos em Grande Escala

4.1. Drivers Globais e Nacionais

4.1.1. Clima, biodiversidade, água e pressão regulatória

Mudanças climáticas aumentam a frequência de estresses abióticos (seca, calor), elevando a demanda por soluções que aumentem a resiliência das plantas, papel central dos bioestimulantes. A perda de biodiversidade e a contaminação dos recursos hídricos por agroquímicos geram pressão social e regulatória para práticas mais limpas.

Em climas tropicais, como o brasileiro, que permitem múltiplas safras anuais, há vegetação ativa no campo durante todo o ano (conhecido como "ponte verde"). Esta “ponte verde” favorece a pressão de doenças e de insetos. Neste cenário, bioinsumos, especialmente biodefensivos, são vistos como ferramentas para o manejo da resistência e a redução de resíduos, frequentemente utilizados em conjunto com controles químicos para maximizar e prolongar a eficácia do controle.

4.1.2. Cadeias de suprimento, clientes corporativos e “circularidade” (adaptando o Circular *Farm do Steer*)

Grandes compradores de commodities (*trading companies*, indústrias alimentares) estabelecem critérios ESG e de rastreabilidade, criando um driver comercial para práticas sustentáveis.

O conceito de "fazenda circular", que busca fechar ciclos de nutrientes e energia dentro da propriedade (por exemplo, usando resíduos para produzir biofertilizantes), ganha força como modelo que reduz custos com insumos externos, aumenta a autonomia e atende a essas demandas do mercado, conforme explorado no relatório Nuffield de Charlie Steer (Steer, 2021).

4.2. Bioinsumos em operações de larga escala

Para fazendas de grande escala, a adoção de qualquer tecnologia é uma equação que equilibra custo, risco e retorno sobre o investimento (ROI).

Bioinsumos devem competir não apenas pela eficácia agronômica, mas também pela logística e pela integração operacional.

A escala já demanda altos custos fixos com equipe e maquinário; soluções biológicas precisam ser projetadas para sinergizar com processos existentes, como a aplicação via tanque de pulverização junto a fertilizantes foliares, o tratamento industrial de sementes ou a dessecação de cobertura, maximizando o uso da infraestrutura disponível. A Figura 9 mostra os postos-chave da utilização de bioinsumos em operações de larga escala.

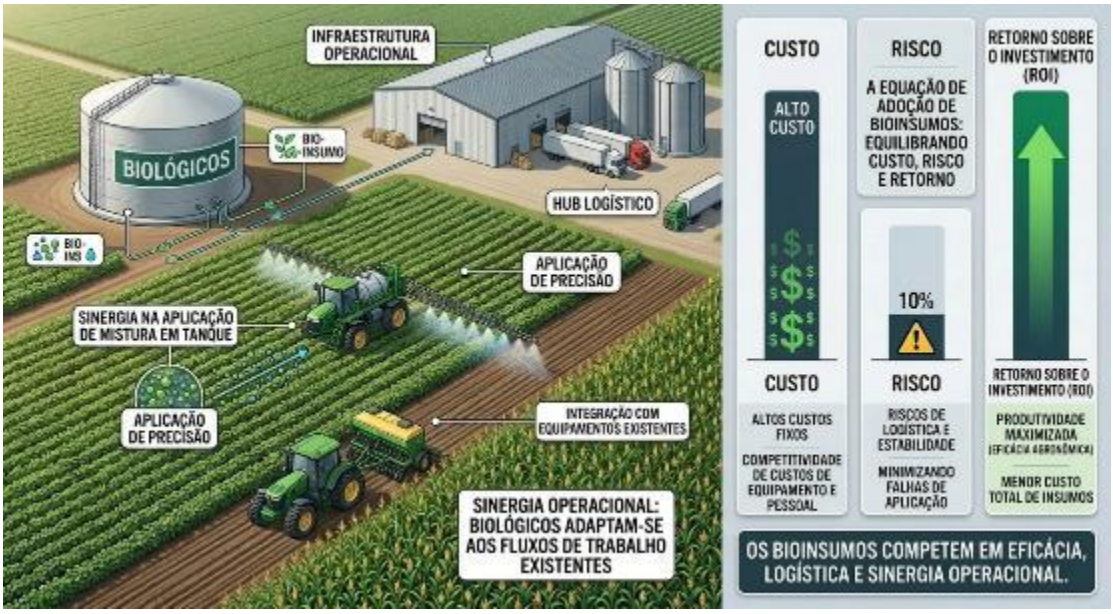

Figura 9. Ilustração de pontos-chave da utilização de bioinsumos em operações de larga escala

4.3. Barreiras à Adoção em Sistemas de Grande Escala

Grandes operações são máquinas complexas, com processos pré-estabelecidos para o plantio, a aplicação e a colheita.

A introdução de bioinsumos, que podem exigir requisitos específicos de armazenamento, mistura, horários de aplicação e equipamentos, adiciona uma camada de complexidade que pode ser vista como um custo operacional.

Além disso, o ceticismo técnico persiste devido à variabilidade das respostas e à relativa escassez de dados independentes e replicáveis em larga escala. Este ceticismo é agravado por conflitos de incentivos ao longo da cadeia, em que revendas e consultores podem obter maior rentabilidade com a venda de insumos convencionais.

Paradoxalmente, essa barreira crítica também tem um lado positivo: impulsiona uma consolidação paulatina e baseada em resultados, evitando a adoção acrítica de modismos.

4.4. Estruturas que habilitam adoção

A adoção bem-sucedida em escala frequentemente emerge de estruturas colaborativas:

- Programas de P&D *on-farm*, como o modelo do Dakota Lakes Research Farm nos EUA, onde produtores co-financiam e validam pesquisas aplicadas, são poderosos.
- Grupos de produtores e redes de troca de experiências, como o BASE nos EUA
- Grupos de especialistas, entusiastas e produtores: GAAS (Grupo Associado de Agricultura Sustentável) no Brasil que opera no princípio de “agricultor educando agricultor”, criando confiança e acelerando a aprendizagem.

Por fim, modelos de parceria estruturada entre indústria, pesquisa e grupos de produtores, com governança clara e compartilhamento de dados e riscos, mostram-se eficazes para desenvolver e validar soluções adaptadas a realidades específicas.

5. Estudos de Caso Internacionais em Sistemas de Alta Escala

5.1. América do Norte

Nos EUA, a integração de biológicos em sistemas de plantio direto e com cobertura viva é uma estratégia em expansão. Gary Zimmer, consultor e fundador da *“Midwestern BioAg*”, prega uma abordagem de "nutrição balanceada" que inclui inoculantes e minerais para "alimentar o solo". Suas recomendações para grandes propriedades focam em corrigir desequilíbrios minerais como base para uma biologia ativa (Figura 10).

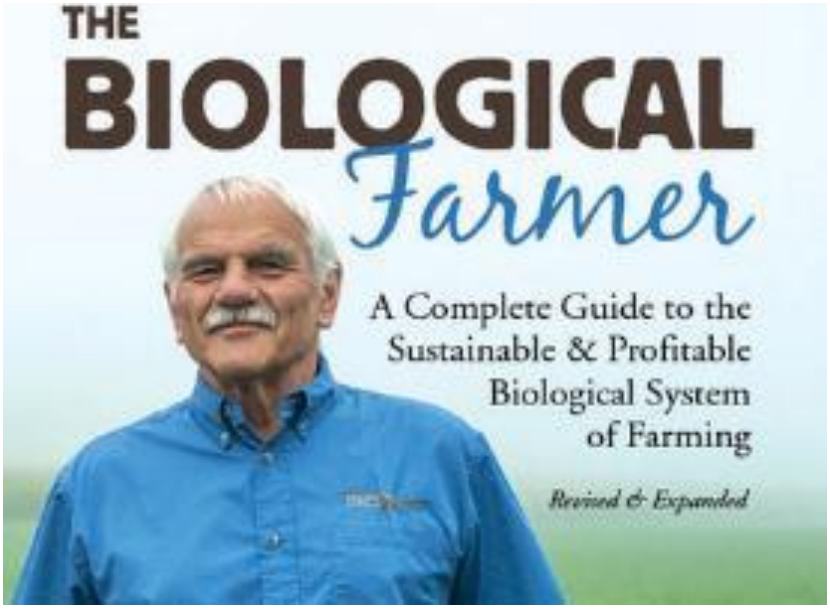

Figura 10. Palestrante do Nuffield CSC 2019 IOWA USA – Gary F. Zimmer

Gabe Brown, ícone da agricultura regenerativa no Dakota do Norte, demonstrou em sua fazenda como a diversificação extrema (até 70 espécies em cobertura) e a eliminação

de insumos sintéticos reconstroem a saúde do solo, reduzindo drasticamente a necessidade de fertilizantes (Figura 11). Ele utiliza compostos e extratos próprios (como *compost tea*) como bioestimulantes neste sistema complexo.

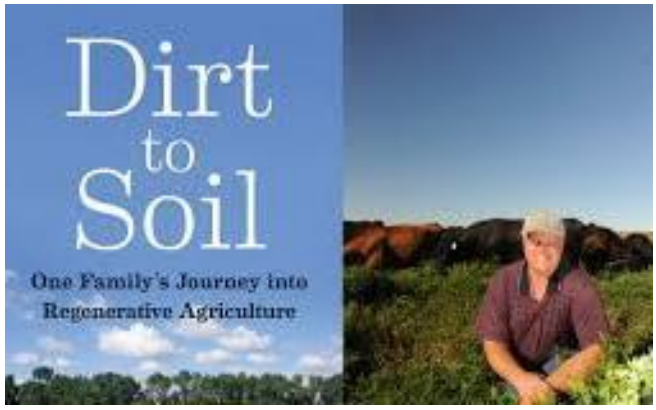

Figura 11. Gabe Brown

John Kempf, fundador da "*Advancing Eco Agriculture"*, foca na "nutrição fisiológica" das plantas para aumentar sua resistência natural. Seu trabalho com grandes produtores de frutas e grãos utiliza aplicações foliares específicas de minerais, aminoácidos e compostos biológicos para otimizar a fotossíntese e a imunidade vegetal, muitas vezes reduzindo a necessidade de fungicidas. A Figura 12 mostra a ilustração utilizada por esse produtor



Figura 12. Gravura de John Kempf, como ele prefere se apresentar

5.2. Europa

O Soil Food Web, conceito popularizado pela Dra. Elaine Ingham, defende a inoculação massiva de solos com consórcios microbianos específicos para restaurar funções ecossistêmicas (Figura 13).

Enquanto a aplicação em larga escala de seus protocolos é complexa, seus princípios influenciam práticas como a produção de *compost tea* e a valorização da biota do solo.

Na prática europeia, destacam-se as fazendas "farol" que operam em escala comercial com modelos circulares. A Dowth Farm - Primeira fazenda de gado de corte neutra em carbono do mundo - na Irlanda, estudada pelo Nuffield Scholar Charlie Steer (Steer, 2021), e a operação da família Maj na Suécia são exemplos que integram pecuária,

grãos e processamento de resíduos em ciclos fechados, utilizando biofertilizantes e manejo biológico como peças centrais de suas economias.

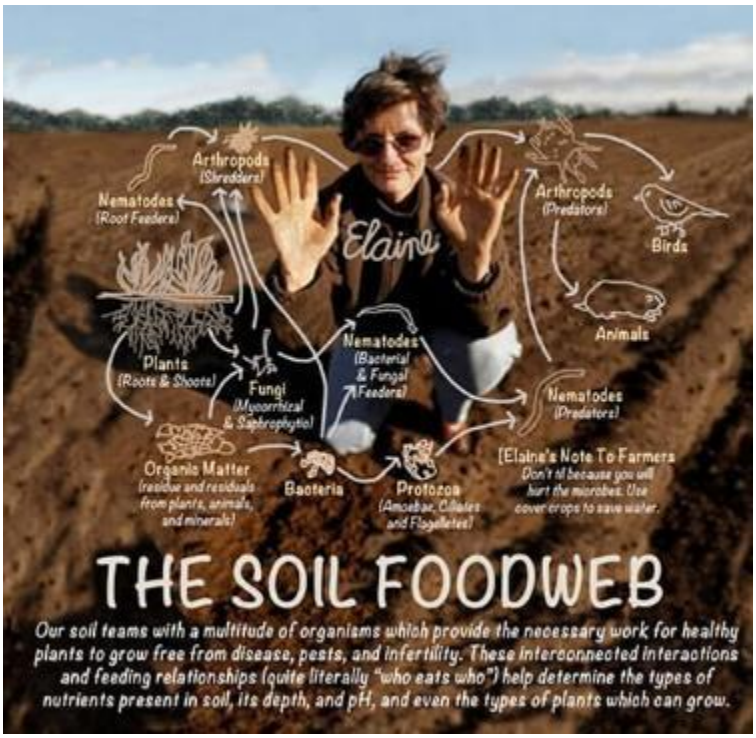

Figura 13. Dra. Elaine Ingham e os conceitos da rede de alimentos do solo "Soil Foodweb"

5.3. Oceania / Outros Países

Na Austrália, o foco em microbiologia do solo é impulsionado por solos antigos e pobres em nutrientes, bem como por secas recorrentes.

Casos em grandes propriedades de grãos e pastagens no cinturão de trigo mostram a adoção de inoculantes de leguminosas forrageiras e de fungos micorrízicos para melhorar a captação de água e de fósforo em solos arenosos.

A lição clara é que o que "escala" são soluções que resolvem um gargalo produtivo crítico e de alto custo (como a fertilização com fósforo), enquanto abordagens muito complexas ou que demandam mudanças radicais no manejo têm adoção mais lenta.

Durante a visita a uma grande fazenda no Território Norte da Austrália, foi possível observar desafios semelhantes aos encontrados no Centro-Oeste brasileiro, como distância e logística, adaptação de manejos às circunstâncias locais e muita dedicação ao trabalho.



Figura 14. Thiago visita fazenda de algodão em Kununurra -Australia que havia grande evidência de micorrizas no solo. Foto com Luke McKay Nuffield Australia 2018 Scholar

5.4. O que cesses casos têm em comum

5.4.1. Padrões de sucesso técnico:

Experimentalismo holístico e adoção paulatina, os casos bem-sucedidos partem de um diagnóstico do sistema como um todo (solo, planta, clima) e testam bioinsumos como parte de uma estratégia integrada, não como soluções isoladas. A adoção é incremental, começando por áreas ou problemas específicos.

5.4.2. Padrões de sucesso econômico:

Iniciativas de baixo/moderado investimento: as intervenções que mais se espalham são aquelas com custo inicial moderado, ROI claro (mesmo que a longo prazo) e que não exigem investimentos pesados em novos maquinários.

5.4.3. Padrões de governança e decisão:

Decisão de inovar e rever processos: por trás de cada caso há um gestor ou grupo disposto a questionar práticas estabelecidas, a investir em monitoramento (análises de solo, biologia, planta) e a empoderar sua equipe para gerenciar a nova complexidade.

6. Estudos de caso e aprendizados para o contexto brasileiro

6.1. Perfis de “Large-Scale Farming” no Brasil

6.1.1. Grãos, fibras, cana e pecuária intensiva

O Brasil concentra algumas das maiores operações agrícolas do mundo. No Mato Grosso, maior produtor nacional, as propriedades de soja e algodão frequentemente ultrapassam 10 mil hectares, com médias significativas.

Companhias como SLC Agrícola, Bom Futuro, Scheffer e Grupo Roncador possuem portfólios que somam centenas de milhares de hectares. No setor sucroenergético, usinas operam áreas próprias de cana que podem variar de 30 mil a over 100 mil hectares.

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), Apenas 1% dos estabelecimentos rurais têm mais de 1.000 hectares, mas concentram cerca de 47% da área agrícola do país.

A Figura 15 mostra os dados de um censo realizado pela BCG Consulting (2025).

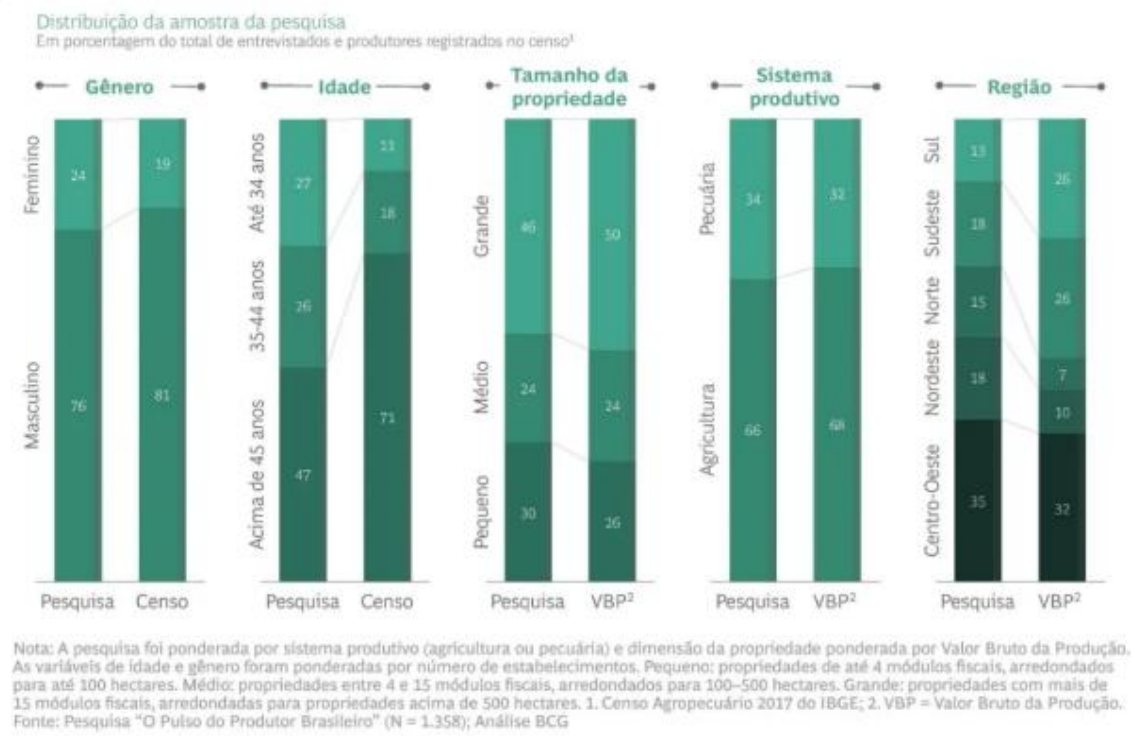

Figura 15. Distribuição da amostra da Pesquisa. Amostra consistente com dados do censo e ponderada para grandes propriedades. (BCG Consulting , 2025).

No relatório de 2025 da BCG Consulting, cerca de 46% dos produtores rurais brasileiros operam em áreas superiores a 500 hectares, o que caracteriza o chamado agronegócio empresarial. Essas operações são majoritariamente familiares, mas com gestão profissionalizada, sucessão planejada e uso intensivo de tecnologia.

Práticas como o plantio direto (97%), a rotação de culturas (93%) e o uso de inoculantes (72%) já são padrão. A preocupação com a rastreabilidade, a certificação e o carbono são crescentes, impulsionada por exigências de exportadores e consumidores internacionais. Grandes produtores lideram a adoção de programas de baixo carbono e de recuperação de pastagens, mas ainda enfrentam desafios para monetizar esses ativos (ex.: crédito de carbono).

Segundo esta mesma pesquisa, o perfil comportamental destes agricultores está dividido conforme mostra a Figura 16.

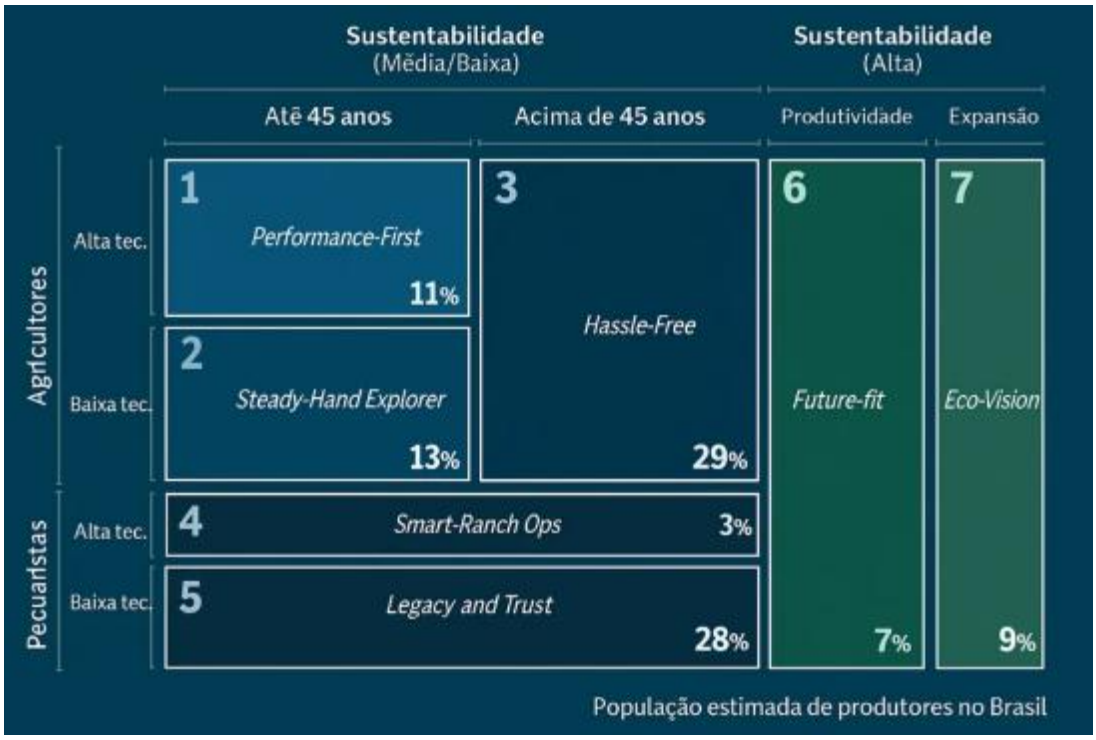

Figura 16. Perfil dos produtores rurais brasileiros, segregado por sistema produtivo, idade, visão de sustentabilidade, adoção de tecnologia e preferências de investimento. Fonte: (BOSCHIERO, 2025) adaptado de (BCG Consulting , 2025).

Essa diversidade de perfis reflete a necessidade de abordagens personalizadas para cada produtor. Se estivermos falando da adoção de novas tecnologias, por exemplo, o estudo mostrou que apenas 18% dos produtores se consideram entre os primeiros a usá-las. A segmentação destes usuários, portanto, é fundamental para a implementação e o sucesso de novas tecnologias. (BOSCHIERO, 2025). A Figura 17 apresenta os sete perfis dos produtores brasileiros.

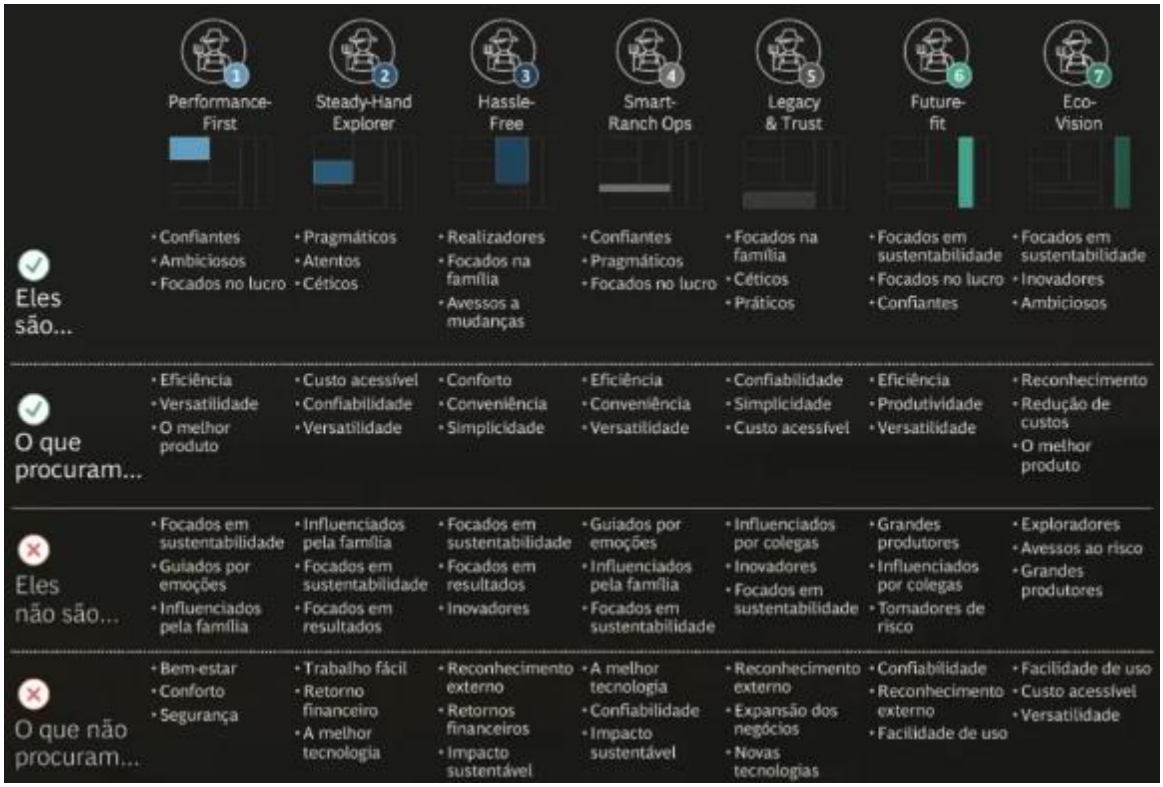

Figura 17. Os 7 perfis do produtor rural brasileiro, com suas respectivas motivações e prioridades no setor agropecuário. Fonte: (BOSCHIERO, 2025) adaptado de (BCG Consulting , 2025).

6.1.2. Estrutura de decisão: grupos empresariais, fundos, produtores-gestores

A decisão em grandes grupos segue lógicas corporativas. Em empresas de capital aberto ou fundos de investimento, há forte pressão por resultados financeiros trimestrais e por análises de risco formalizadas.

Em grupos familiares de grande porte (como muitos no Centro-Oeste), a decisão pode ser mais ágil, mas ainda é centralizada em um conselho técnico ou no proprietário-gestor. Em todos os casos, a adoção de inovações, como bioinsumos, passa por um crivo de custo-benefício e por uma análise de impacto operacional.

6.2. Casos de uso de bioinsumos e controle microbiológico em larga escala

- **Grupo Scheffer:** Relatos de campo indicam que o grupo tem um programa estruturado de uso de inoculantes microbianos (Rizóbio e Azospirillum) e de bioestimulantes em suas vastas áreas de soja e milho. Os aprendizados giram em torno da logística de aplicação em escala industrial e da necessidade de monitoramento contínuo para validar economicamente os resultados, que têm sido positivos em termos de estabilidade produtiva. A biofábrica desse grupo é apresentada na Figura 18.



Figura 18. Biofábrica *on-farm* na Fazenda Três Lagoas do Grupo Scheffer, em Sapezal, Mato Grosso, Brasil.

- **Grupo Bom Futuro:** Patrocinador desta bolsa, o grupo é conhecido por sua postura inovadora. Informações disponíveis sugerem experimentação avançada com diferentes categorias de bioinsumos, desde biodefensivos até fertilizantes organominerais e inoculantes. Seus aprendizados são estratégicos, focados em integrar essas ferramentas a um modelo de negócio de altíssima produtividade e baixo custo. A biofábrica desse grupo é apresentada na Figura 19.



Figura 19. Biofábrica *on-farm* na fazenda Fartura, do Grupo Bom Futuro, em Campo Verde, Mato Grosso – Brasil.

- **Grupo Associados de Agricultura Sustentável (GAAS):** Esta rede de produtores e entusiastas funciona como um laboratório vivo de troca. As experiências compartilhadas no GAAS evidenciam uma adoção pragmática: biológicos são usados

onde mostram vantagem clara (ex.: nematicidas biológicos, Trichoderma em sementes), enquanto outras áreas ainda dependem de soluções convencionais. A principal limitação relatada é a inconsistência dos resultados entre diferentes ambientes. A Figura 20 mostra a discussão entre produtores em um importante evento na cidade de Sinop – MT.



Figura 20. Discussão entre produtores e especialistas sobre as tendências do mercado e a Agricultura Tropical Regenerativa no Brasil – 5º Fórum do GAAS – 2025 – SINOP, MT, Brasil.

- **Leontino Balbo (Native / Grupo Balbo):** Pioneiro na cana-de-açúcar, Balbo desenvolveu um sistema próprio de fertilização orgânica e microbiana em larga escala, reduzindo drasticamente o uso de fertilizantes sintéticos. Seu caso é extremo e específico, mas demonstra a viabilidade técnica e econômica de uma transição biológica radical, desde que haja investimento em P&D interno e mudança completa no paradigma de manejo. Algumas informações produtivas desse grupo são apresentadas na Figura 21.



Figura 21. Alguns dos números da Native (BrasilAgro, 2018).

6.3. Comparando Brasil com os casos internacionais

Dados da Croplife Brasil e de consultorias especializadas posicionam o país como um dos líderes globais na adoção de biodefensivos, mas ainda em fase de crescimento em bioestimulantes e inoculantes além da soja.

A maior vantagem comparativa do Brasil está no clima tropical, que favorece a atividade microbiana, na extensa área sob plantio direto (que conserva a biota) e na indústria de bioinsumos dinâmica. Esta mesma vantagem, o clima, algumas vezes também pode ser percebida como limitante, pois os patógenos e insetos crescem mais neste ambiente e a demanda de defensivos químicos é muito alta, sendo difícil obter manejos 100% orgânicos em fazendas muito extensas.

O risco específico é a tentação de buscar "balas de prata" – produtos milagrosos – sem investir no manejo do sistema como um todo, o que leva a frustrações e atrasa a adoção consistente.

Além disso, a escala de grandes propriedades permite observar bioinsumos em diferentes circunstâncias.

6.4. Modelo de “fazenda circular e biológica”. Faz sentido aqui?

O conceito de fazenda circular no Brasil está ligado à aplicação dos princípios da economia circular à produção agrícola, buscando fechar ciclos de nutrientes, reduzir desperdícios e promover o uso eficiente dos recursos naturais. Em vez de um modelo linear (extrair-produzir-descartar), a fazenda circular integra diferentes atividades e resíduos, transformando o que seria descarte em insumo para outro processo produtivo. Isso pode envolver, por exemplo, o uso de resíduos orgânicos para compostagem, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o aproveitamento de dejetos animais para geração de biogás e biofertilizantes, e a reutilização de água.

Um modelo brasileiro de circularidade em larga escala deve integrar (Figura 22):

1) Circuitos curtos de nutrientes: uso de compostagem de resíduos da propriedade (palhas, cama de frango, tortas de filtro), produção de biofertilizantes a partir de dejetos da integração lavoura-pecuária e aproveitamento de resíduos industriais locais (como os das usinas de álcool).

2) Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) com bioinsumos: A rotação com pastagens e árvores melhora a qualidade do solo, e a aplicação de inoculantes nas forrageiras e nos cultivos pode potencializar esses benefícios.

3) Serviços ecossistêmicos: O sistema circular, bem manejado, gera créditos de carbono e melhora a infiltração de água, abrindo portas para novos mercados e financiamentos verdes.



Figura 22. Conceito de fazenda circular.

No Brasil, já existem exemplos concretos desse modelo. Algumas fazendas de grande porte, como as do Grupo Fazenda da Toca (SP), adotam sistemas agroflorestais, compostagem em larga escala e integração de galinhas, hortaliças e culturas perenes, fechando ciclos de nutrientes e reduzindo a necessidade de insumos externos. Outro exemplo é o uso de biodigestores em propriedades leiteiras do Sul e Sudeste, onde os dejetos dos animais geram energia elétrica para a fazenda e o biofertilizante retorna às lavouras. No setor sucroenergético, usinas como a Raízen reaproveitam vinhaça e torta de filtro como fertilizantes, além de investirem em cogeração de energia a partir de resíduos da cana-de-açúcar.

6.5. Biológicos *on-farm*

Tendência Estrutural Ou Apenas Moda? A produção *on-farm* de biológicos, como Bacillus e Trichoderma, tem histórico no Brasil, inicialmente ligada à agricultura orgânica.

Sua evolução recente, com equipamentos mais robustos e protocolos mais padronizados, atrai grandes produtores pela redução de custos e pela maior autonomia (Figura 22).



Figura 23. Equipamentos *on-farm* Bioevolve do Grupo Innovar com automação e qualidade do bioinsumos fabricados.

Embora existam desafios de controle de qualidade e regulação, a motivação econômica é forte. Portanto, mais do que uma moda passageira, trata-se de uma tendência estrutural que deve crescer, especialmente para microrganismos de uso mais geral e para propriedades com estrutura técnica para gerenciá-la.

Esta tendência é tão forte no Brasil que se fez necessária a regulamentação da produção de bioinsumos "*on-farm*" (dentro da propriedade rural), consolidada com a aprovação da Lei nº 15.070/2024, que autoriza e define regras para que o produtor rural produza insumos biológicos para uso próprio. A nova legislação surge para dar respaldo jurídico à prática, diferenciando os bioinsumos dos agrotóxicos convencionais e visando garantir a qualidade dos insumos e a segurança alimentar. A regulamentação atualiza o cenário anterior, que gerava insegurança jurídica quanto à prática (Gusmão, 2025). Os principais tópicos da regulamentação de "biológicos *on-farm*" no Brasil são apresentados na Tabela 3.

A prática *on-farm* é poderosa e tende a crescer muito, mas dificilmente substituirá totalmente os produtos industriais de alta tecnologia por alguns motivos estruturais.

Tabela 3. Principais tópicos da regulamentação de "biológicos *on-farm*" no Brasil

Uso Próprio e Comercialização:	A produção *on-farm* é permitida exclusivamente para uso próprio dentro da mesma propriedade ou propriedades do mesmo grupo econômico/cooperativa, sendo a comercialização vedada.
Dispensas e Cadastro:	Produtos produzidos *on-farm* estão dispensados de registro, mas os estabelecimentos produtores devem realizar um cadastro simplificado no Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa).

Fonte do Material Biológico:	É permitido o uso de cepas provenientes de bancos de germoplasma credenciados ou produtos com cepas registradas para essa finalidade. Proibido o uso de produtos comerciais (bactericidas/fungicidas comprados) como fonte de inóculo (repicagem).
Boas Práticas e Responsabilidade:	O produtor deve seguir normas de boas práticas definidas pelo Mapa, que incluem a necessidade de responsável técnico habilitado.
Fiscalização	O descumprimento das regras pode resultar em multas, apreensão de produtos e interdição da propriedade.

6.5.1. Limites técnicos da produção *on-farm*.

A) Variabilidade e padronização

- *On-farm*: cada fazenda tem água, equipamentos, cepas, manejo e higiene diferentes. Isso gera **lotes co**m concentrações de microrganismos, pureza e desempenho muito variáveis.
- Industrial: há **controle fino de processo** (fermentadores, sensores, controle de temperatura, pH, oxigênio, meios de cultura definidos), garantindo produtos com **concentração, pureza e estabilidade padronizadas**. Para algumas aplicações críticas (por exemplo, o tratamento de sementes com doses precisas ou a aplicação de biológicos em doses muito baixas), essa padronização é fundamental.

B) Complexidade de formulação

Muitos biológicos de "alta tecnologia" não são apenas micro-organismos: são **formulações complexas** com:

- Misturas de cepas selecionadas,
- Protótipo de encapsulamento (polímeros, microcápsulas, protetores UV, agentes de aderência, surfactantes),
- Estabilizantes que prolongam o prazo de validade e garantem a viabilidade mesmo sob condições adversas.
- Reproduzir esse nível de formulação na fazenda é muito difícil, caro e, na prática, inviável em larga escala. *On-farm*, tende a focar mais em soluções **simples** (inóculos, biofertilizantes líquidos, caldas vivas) do que em formulações sofisticadas.

C) Estabilidade e vida de prateleira

- Produtos industriais de alta tecnologia são desenvolvidos para ter **vida útil longa** (meses, às vezes anos) em condições variadas de armazenamento.
- *On-farm* normalmente trabalha com produtos de **vida útil curta**, que precisam ser usados logo após a produção. Isso limita a logística, a janela de aplicação e a escalabilidade.

D) Escopo de aplicação

Alguns biológicos ou bioinsumos demandam infraestrutura específica (fermentadores de grande porte, *downstream* complexo, purificação, secagem, liofilização, encapsulamento) que não faz sentido economicamente na fazenda. Certos produtos simplesmente nunca serão economicamente viáveis como *on-farm.*

6.5.2. Regulação, segurança e risco

A) Responsabilidade e risco sanitário

- *On-farm* envolve manipular microrganismos. Se houver contaminação cruzada (fungos indesejados, patógenos, endotoxinas), os riscos são: perda de eficácia; danos à cultura; riscos ambientais ou até à saúde humana.
- No modelo industrial, há **protocolos rigorosos de biossegurança**, validação de processos e testes de qualidade em laboratório. → Reguladores tendem a ser mais restritivos com a expansão irrestrita de *on-farm*, justamente pelo risco de mau uso.

B) Exigências legais crescentes

Apesar de existir uma regulamentação simples, a tendência da legislação (como na de biológicos e defensivos em geral) é **aumentar as exigências de rastreabilidade, controle de qualidade e comprovação de eficácia**.

Isso é mais fácil de demonstrar em empresas estruturadas, que têm laboratório, equipe regulatória e processos auditáveis. A adoção do on-farm tende a ser permitida, mas com limitações (uso próprio, algumas categorias de produto, volumes controlados).

C) Responsabilidade civil e seguro

- Em caso de problema (por exemplo, falha no controle de pragas, dano ambiental, resíduo indesejado), é muito mais fácil apontar a responsabilidade de um **produto industrial registrado**.
- On-farm coloca mais risco diretamente sobre o produtor, o que pode ser um ponto sensível para grandes grupos que dependem de seguros, bancos e compliance ambiental.

6.5.3. Fatores econômicos e de gestão

A) Custo oculto de operação

À primeira vista, *on-farm* parece “mais barato” porque o produtor “faz em casa”, mas há custos ocultos como:

- Mão de obra qualificada,
- Equipamentos (tanques, bombas, sistemas de aeração, filtragem, etc.),
- Energia,
- Insumos de cultura,
- Controle de qualidade mínimo (análises básicas).

Em certas escalas e culturas, o **custo total** pode não ser tão vantajoso quanto comprar um produto industrial pronto, especialmente se houver perdas decorrentes de falhas de processo.

B) Complexidade de gestão

On-farm exige que o produtor “vire” também um pequeno fabricante, trazendo a sua rotina novas atividades que não estão no centro de seu foco e muitas vezes nem de sua competência: planejar lotes, garantir qualidade, registrar processos, treinar equipe, cuidar de fluxo de caixa, manter equipe motivada para morar/trabalhar no meio rural.

Muitos produtores preferem concentrar esforços na **gestão da lavoura e do mercado**, terceirizando soluções tecnológicas para a indústria.

C) Inovação contínua

Produtos industriais de alta tecnologia passam por **pesquisa e desenvolvimento constantes**: novas cepas, novas formulações, novos modos de ação. *On-farm* tende a trabalhar com tecnologias já conhecidas, muitas vezes derivadas da pesquisa pública, com uma inovação incremental mais lenta. Para permanecer na fronteira tecnológica (por exemplo, consórcios microbianos projetados, RNAi, herbicidas biológicos, formulações avançadas), a indústria deve se manter relevante.

7. Desenho de sistemas: como integrar bioestimulantes e microbiologia na gestão da fazenda

7.1. Princípios de desenho de sistemas biológicos em larga escala

7.1.1. "Design, não default"

A integração bem-sucedida requer planejamento intencional ("design"), não a mera substituição aleatória de um insumo por outro. Isso significa definir objetivos claros (ex.: melhorar a eficiência do N, reduzir o estresse hídrico) e escolher as ferramentas biológicas que se encaixam nessa estratégia maior.

Pensar em ciclos, não em linhas: um dos grandes desafios é mudar a mentalidade de uma linha de produção (insumo -> planta) para processos e ciclos (resíduo -> solo -> biota -> planta -> resíduo). Isso implica mapear os fluxos de carbono, nutrientes e água na propriedade e identificar pontos em que bioinsumos podem otimizar ou fechar esses ciclos, reduzindo perdas e custos externos.

7.2. Ferramentas Práticas para o Gestor

Como testar bioestimulantes com rigor em campo (desenho experimental simples, mas robusto): Utilizar faixas de teste largas e longas (para minimizar o efeito de borda), com repetições dentro do talhão e uma testemunha absoluta (área sem o produto). Coletar dados de produtividade via GPS e realizar análise estatística básica. Testar por no mínimo duas safras antes de tomar uma decisão de escala.

Importante: entende-se que a agricultura é uma atividade de grande variabilidade e que, tradicionalmente, a academia realiza pesquisas que isolam fatores. No caso de insumos biológicos, corre-se o risco de se obter pequenos resultados quando se isolam fatores, e a "bala de prata" não atinge resultados satisfatórios e ocorre a frustração. Logo é importante pensar em conjuntos sinérgicos de atividades que favoreçam o manejo mais sustentável como:

- Implantar uso de produto biológicos via folha, mas, perceber se condições meteorológicas e tanque mix são adequados

- Entender sinergias e antagonismos. Ex.: Aplicar inoculantes microbianos em solos com boa matéria orgânica e pH corrigido potencializa o efeito.
- Escolher genéticas de plantas que respondam bem à presença de micorrizas.
- Aplicar bioestimulantes foliares em janelas fisiológicas-chave (ex.: alongamento de colmo, enchimento de grãos) definidas pelo manejo.

Métricas mínimas: além de produtividade (sacas/ha) faz-se necessário abrir o espectro de entendimento para benefícios que poderão ser mais vantajosos do que o resultado de produtividade obtido, como:

- Estabilidade (menor variabilidade entre anos);
- Margem operacional (custo do bioinsumo vs. ganho em produtividade ou economia em outro insumo);
- Indicadores de solo (carbono orgânico, respiração microbiana);
- Risco operacional (facilidade de aplicação, compatibilidade).

7.3. Estratégias de Escala e Gestão de Risco

Começar pequeno e ir escalando: Este modelo de cautela e implementação gradual foi bem discutido pelo pesquisador da Nuffield (Byrne, 2019).

Alocar uma pequena porcentagem da área total (5-10%) para um programa piloto integrado. Aprender, ajustar os protocolos e, só então, expandir para áreas maiores, talhão a talhão.

Erros típicos na adoção em larga escala: Dado o dinamismo das grandes propriedades, conjuntamente com a restrição de mão de obra, geram-se erros que são muito comuns: não calibrar equipamentos para volumes diferentes, misturar produtos incompatíveis no tanque, aplicar em condições ambientais inadequadas. Para mitigar estes e outros problemas, o planejamento e engajamento da equipe se fazem muito necessários, além de implementar processos simples para treinamento da equipe, protocolos escritos de operação (POPs) e testes de compatibilidade prévios.

Quando faz sentido internalizar (Fazer) vs. terceirizar (Comprar) soluções biológicas: para grandes fazendas, decidir entre produzir biológicos *on-farm* ou comprar soluções industriais prontas é menos uma questão ideológica e mais uma decisão de gestão de riscos e de alocação de recursos.

Internalizar a produção de bioinsumos começa a fazer sentido quando a fazenda já opera em escala relevante, com equipe técnica estável e algum grau de padronização de processos (POPs, controle de qualidade, registros).

Em contextos assim, produzir parte dos biológicos *on-farm* pode reduzir o custo unitário por hectare, garantir a disponibilidade em janelas críticas e permitir ajustar as formulações ao manejo específico da fazenda.

Por outro lado, desenvolver e manter uma “mini-indústria” biológica dentro da porteira demanda investimento em infraestrutura, pessoas, biossegurança e conformidade regulatória – e isso compete por tempo e capital com a operação principal (plantio, colheita, logística).

Em muitos casos, especialmente para grandes grupos ou operações enxutas, faz mais sentido terceirizar boa parte das soluções biológicas, concentrando a energia de gestão na escolha cuidadosa de parceiros, no rigor do teste de produtos em campo e na integração desses insumos a um manejo de sistema.

Uma decisão madura tende a combinar os dois caminhos: internalizar algumas soluções de menor complexidade (por exemplo, multiplicação de micro-organismos mais “robustos” ligados a resíduos da própria fazenda) e comprar de terceiros biológicos mais sofisticados, de uso crítico ou que exigem controle de qualidade difícil de reproduzir internamente.

7.4. Elementos de governança e tomada de decisão

Como alinhar o time técnico, a diretoria e os investidores: A adoção de bioinsumos em larga escala mexe com o orçamento, o risco operacional e a narrativa de longo prazo do negócio; portanto, não pode ser conduzida apenas “no nível da fazenda” ou apenas “no nível do conselho”.

Uma boa governança começa com clareza sobre quem decide o quê: o time técnico desenha e executa os testes, a diretoria define limites de risco e metas de retorno, e investidores ou acionistas entendem como isso conversa com a estratégia de longo prazo e com temas como ESG, carbono e reputação.

Na prática, isso significa transformar bioinsumos em pauta recorrente de comitês técnicos e financeiros, estabelecer critérios explícitos para sair do piloto e escalar (ou abandonar) uma tecnologia, e combinar indicadores agronômicos e econômicos em painéis simples, que possam ser lidos tanto por um agrônomo quanto por um conselheiro financeiro.

Quando esse alinhamento existe, as decisões deixam de ser baseadas em “moda” ou em pressão comercial e passam a seguir um roteiro acordado de teste, aprendizado e escala.

Transparência, dados e aprendizado contínuo: sem dados minimamente consistentes, bioinsumos viram apenas mais uma camada de complexidade sobre um sistema já complexo.

Em fazendas grandes, isso costuma aparecer na forma de adubações duplicadas, aplicações mal calibradas ou conclusões apressadas do tipo “não funcionou” ou “milagroso”, sem base sólida.

Construir transparência significa registrar, de forma simples, mas disciplinada, o que foi aplicado, onde, quando e sob quais condições de solo e clima, e depois cruzar isso com os resultados de produtividade, custos e indicadores de solo.

Esses dados não servem apenas para “olhar para trás”; são a matéria-prima de um ciclo de aprendizado contínuo, em que erros são documentados e reaproveitados, e decisões futuras ficam menos dependentes da memória individual.

Em grupos com várias fazendas, a transparência interna entre unidades — mesmo quando expõe falhas — é um dos diferenciais que aceleram o ajuste do sistema e reduzem o custo de aprender.

8. Conclusões

Este relatório partiu do objetivo central de analisar o papel dos bioinsumos em sistemas de grande escala, identificando onde geram valor real. Ao longo da investigação – que combinou revisão bibliográfica, viagens internacionais e diálogos com produtores, pesquisadores e indústria – ficou claro que a discussão precisa ser ancorada em três camadas de evidência: o que já é robusto, o que é promissor e o que ainda não sabemos. A seguir, essa lógica é aplicada a cada um dos objetivos específicos.

Objetivo 1 – Mapear a adoção e os resultados agronômicos e econômicos relatados por grandes produtores.
Robusto: Grandes produtores em países como os EUA, o Brasil e a Austrália adotam bioinsumos de forma **pragmática e orientada a problemas específicos** – por exemplo, inoculantes para a fixação biológica de nitrogênio na soja ou micorrizas para a eficiência do fósforo em solos arenosos. O retorno econômico é mais consistente quando o insumo resolve um gargalo produtivo de alto custo.

Promissor: A expansão para novas culturas (algodão, cana, pastagens) e o uso de **combinações sinérgicas** (ex.: consórcios microbianos + matéria orgânica) mostram potencial para aumentar a estabilidade e a resiliência, mas ainda dependem de validação em escala comercial.

Ainda não sabemos: como prever com confiança a **variabilidade de resposta** em talhões heterogêneos dentro de uma mesma fazenda, e qual é o real impacto econômico de médio prazo quando se substituem insumos sintéticos por biológicos de forma ampla.

Objetivo 2 – Identificar os fatores de contexto que diferenciam o sucesso do insucesso.

Robusto: **Condições de solo (textura, matéria orgânica, pH) e clima** são determinantes primários. Sistemas com manejo de base já equilibrado – como o plantio direto consolidado e a rotação de culturas – respondem melhor à adição de bioinsumos.

Promissor: O uso de **ferramentas de diagnóstico avançado** (sensores, análises microbiológicas do solo) para mapear a variabilidade e orientar aplicações está evoluindo rapidamente e pode aumentar a precisão das decisões.

Ainda não sabemos: como **priorizar esses fatores nas decisões operacionais** do dia a dia – ou seja, qual indicador (ex.: atividade enzimática, diversidade microbiana) é mais prático e preditivo para o gestor de larga escala tomar a chamada “na hora certa”.

Objetivo 3 – Avaliar a migração da indústria de insumos e consultorias para abordagens de manejo integrado.

Robusto: Empresas líderes globais e consultorias de ponta já não vendem “produtos isolados”, mas **pacotes técnicos** que combinam biológicos, fertilizantes, genética e

monitoramento. O modelo de parceria de longo prazo (em vez da venda por campanha) é um claro diferencial nos casos de sucesso.

Promissor: A **integração com plataformas digitais** (AP, IoT, IA) para recomendações dinâmicas e a oferta de serviços de suporte a biofábricas *on-farm* são tendências que podem acelerar a adoção.

Ainda não sabemos: se esses modelos de negócio mais complexos são **economicamente viáveis em escala** para a maioria das empresas do setor, e como equilibrar a necessária sofisticação técnica com a simplicidade exigida pelo produtor.

Objetivo 4 – Discutir oportunidades e riscos para a adoção em larga escala no Brasil.

Robusto: O Brasil tem **vantagens comparativas únicas** para bioinsumos: clima tropical que favorece a atividade microbiana, extensa área sob plantio direto e uma indústria nacional dinâmica e inovadora. O potencial de redução de custos com fertilizantes importados é um poderoso *driver* econômico.

Promissor: A **regulamentação recente da produção *on-farm*** (Lei nº 15.070/2024) cria um marco legal que pode impulsionar a autonomia dos produtores, desde que acompanhada de protocolos de qualidade.

Ainda não sabemos: qual será o **impacto agregado em larga escala** na produtividade e na rentabilidade das principais commodities, e como os riscos operacionais (logística, controle de qualidade, inconsistência) se comportarão quando centenas de milhares de hectares forem convertidos em sistemas mais biológicos.

Objetivo 5 – Propor recomendações práticas para os diferentes atores da cadeia.

Robusto: As evidências mostram que **qualquer adoção bem-sucedida em grande escala exige um desenho intencional de sistema** ("design, não default"), início em áreas piloto (5–10%) e aprendizado contínuo baseado em dados.

Promissor: Há espaço para **modelos híbridos** que combinem a compra de insumos industriais com a produção interna *on-farm de* itens de menor complexidade, otimizando custos e autonomia.

Ainda não sabemos: como **traduzir essas recomendações em políticas públicas e instrumentos financeiros** que de fato reduzam o custo de transição e do erro para o produtor, sem criar distorções de mercado.

Síntese Final

O uso de bioinsumos na agricultura de larga escala não é uma revolução instantânea, mas sim uma **evolução técnica gradual**. O que é robusto hoje cabe em uma caixa de ferramentas bem definida: inoculantes para leguminosas, micorrizas para solos pobres em fósforo, bioestimulantes para estresses específicos. O que é promissor – como microbiologia do solo aplicada, biofábricas na fazenda e sistemas circulares – ainda está sendo construído, dependente de contexto, desenho de manejo e validação contínua. E o que ainda não sabemos é extenso, especialmente em relação à previsibilidade econômica e à escalabilidade operacional em condições reais de campo.

Colocar os bioinsumos nesse lugar – nem solução mágica, nem modismo descartável – é, talvez, a principal contribuição deste relatório. Para o produtor de grande escala, a mensagem final é de **pragmatismo informado**: comece com problemas claros, teste com rigor, escale com critério e nunca perca de vista que o verdadeiro bioinsumo é o sistema como um todo.

A Figura 24 ilustra o sumário e as conclusões sobre bioinsumos na agricultura de larga escala.



Figura 24. Ilustração do sumário e das conclusões sobre bioinsumos na agricultura de larga escala.

9. Recomendações

9.1. Recomendações para produtores de grande escala

Para produtores de grande escala, a mensagem central é: trate bioinsumos como parte do desenho do sistema, não como um "adicional simpático" à lógica dos insumos químicos. As recomendações tendem a incluir começar pequeno e com clareza quanto às hipóteses (onde exatamente se espera ganho), testar com um desenho minimamente robusto, associar bioinsumos a ajustes em fertilidade, genética e manejo do solo, e criar um processo interno para revisar os resultados a cada safra. Em ambientes onde biológicos *on-farm* façam sentido, sugerir uma trajetória gradual de aumento de complexidade e escala, sempre subordinada à capacidade de garantir a qualidade e a rastreabilidade.

9.2. Recomendações para indústria de insumos e serviços

Para a indústria, o relatório aponta a necessidade de sair da lógica de "produto isolado" e de trabalhar mais em pacotes técnicos, protocolos e serviços que reconheçam a realidade operacional das grandes fazendas. Recomenda-se investir em dados gerados em condições comerciais (não apenas em ensaios de vitrine), ser transparente sobre os limites de atuação dos produtos e construir modelos de parceria de longo prazo com produtores e consultores, em vez de recorrer a ciclos curtos de venda por campanha.

Há também espaço para desenvolver soluções híbridas, combinando a oferta de produtos com o suporte a programas *on-farm*, em vez de enxergá-los apenas como concorrentes.

9.3. Recomendações para pesquisa, políticas públicas e financiadores

Para pesquisa, políticas públicas e financiadores, as recomendações convergem para apoiar estudos de sistema de médio prazo que integrem solo, planta, clima, economia e risco operacional — em vez de ensaios fragmentados e de curto ciclo. Políticas e linhas de crédito podem ser desenhadas para reduzir o custo de transição (e do erro) em programas de bioinsumos em larga escala, condicionando apoio a protocolos mínimos de medição e transparência. Financiadores que estão entrando na agenda de carbono e ESG têm a oportunidade de valorizar explicitamente sistemas que usam microbiologia e bioestímulo com critério, desde que isso venha acompanhado de métricas verificáveis e não apenas de narrativas.

Referências

Associação Nacional de Promoção e Inovação da Indústria de Biológicos. (2025). *ANPIIBIO*. Fonte: Estatísticas: https://anpiibio.org.br/estatisticas/

BCG Consulting . (2025). *The Pulse of Brazilian Farmers.* BCG CONSULTING.

BOSCHIERO, B. (29 de 09 de 2025). *Perfil do produtor rural brasileiro em 2025: os 7 tipos revelados em pesquisa inédita*. Fonte: AGROADVANCE: https://agroadvance.com.br/blog-perfil-do-produtor-rural-brasileiro-2025/

BrasilAgro. (06 de 02 de 2018). *Native quer disseminar sua revolução*. Fonte: BrasilAgro: https://www.brasilagro.com.br/conteudo/native-quer-disseminar-sua-revolucao.html

Byrne, R. (2019). *Regenerative Agriculture.* Nuffield Ireland: Nuffield Scholar.

CropLife Brasil. (31 de 03 de 2026). *Bioinsumos: soluções sustentáveis para o agronegócio*. Fonte: CropLife Brasil: https://croplifebrasil.org/bioinsumos/

EMBRAPA. (31 de 03 de 2026). *Menos insumos sintéticos, mais economia e maior sustentabilidade*. Fonte: Insumos biológicos: https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos

Gusmão, A. (4 de 12 de 2025). *Compre Rural*. Fonte: Como o modelo On-farm impacta o agronegócio brasileiro?: https://www.comprerural.com/como-o-modelo-on-farm-impacta-o-agronegocio-brasileiro/

INSPER. (25 de 07 de 25). *INFRAESTRUTURA E TECNOLOGIA*. Fonte: O que são bioinsumos e qual o seu potencial para o agro brasileiro?: https://agro.insper.edu.br/agro-in-data/artigos/o-que-sao-bioinsumos-e-qual-o-seu-potencial-para-o-agro-brasileiro

Mariane Carvalho Vidal, R. P. (15 de 02 de 2023). BIOINSUMOS A PARTIR DAS CONTRIBUIÇÕES DA. *Revista Brasileira de Agroecologia*.

Secretaria de Defesa Agropecuária. (2025). *Manuais da Secretaria de Defesa Agropecuária*. Fonte: Manual de Metodologias de Bioinsumos: https://wikisda.agricultura.gov.br/pt-br/Laborat%C3%B3rios/Metodologia/Bioinsumos/Bioinsumos_Manual

Steer, C. (2021). *The Circular Farm.* NUFFIELD UK.

10. Anexos



Figura 25. Mapa Mental de Bioinsumos na Agricultura de Larga Escala: Do "Produto Mágico" ao Desenho de Sistema



Figura 26. Mapa Mental de Bioinsumos na Agricultura de Larga Escala: Do "Produto Mágico" ao Desenho de Sistema