

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS URUTAÍ**

MARCOS VINÍCIUS MARQUES

**USO DE REMINERALIZADORE E MICRORGANISMOS EFICIENTES E SEUS
EFEITOS NA CULTURA DA SOJA**

**URUTAÍ-GO
2025**

MARCOS VINÍCIUS MARQUES

**USO DE REMINERALIZADORES E MICRORGANISMOS EFICIENTES E
SEUS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA**

Artigo apresentado ao curso de Pós-graduação
Lato Sensu em Bioinsumos como requisito para
obtenção do título de Especialista. Orientadora:
Prof. Dr. Eliana Paula Fernandes Brasil

**URUTAI-GO
2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M357u Marques, Marcos Vinícius
 Uso de Remineralizadores e Microrganismos Eficientes e
 Seus Efeitos na Cultura da Soja / Marcos Vinícius Marques.
 Urutaí
 2025.

 37f. il.

 Orientadora: Prof^ª. Dra. Eliana Paula Fernandes Brasil.
 Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano,
 curso de
 0130426 - Especialização em Bioinsumos - Urutaí (Campus
 Urutaí).
 1. BIOINSUMO. 2. rochagem. 3. inoculantes microbianos. 4.
 agricultura sustentável. I. Título.

ERRATA

MARCOS VINÍCIUS MARQUES

USO DE REMINERALIZADORES E MICRORGANISMOS EFICIENTES E SEUS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Programa de Pós-Graduação lato sensu em Bioinsumos.

Página 1 – Capa

Elemento	Onde se lê	Leia-se
Cabeçalho	O cabeçalho da capa apresenta sua identificação institucional distribuída em número de linhas diferente do modelo estabelecido pela instituição.	O cabeçalho deve ser apresentado em 6 (seis) linhas , conforme o modelo institucional.
Nome do autor	O nome do autor não consta entre o cabeçalho e o título do trabalho.	MARCOS VINÍCIUS MARQUES deve ser inserido entre o cabeçalho e o título do trabalho.

Correção da capa:

A capa deverá apresentar o cabeçalho conforme o modelo institucional, organizado em 6 (seis) linhas, seguido do nome do autor **MARCOS VINÍCIUS MARQUES** e, posteriormente, do título **USO DE REMINERALIZADORES E MICRORGANISMOS EFICIENTES E SEUS EFEITOS NA CULTURA DA SOJA**.

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos vinte dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 08:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dra. Eliana Paula Fernandes Brasil, Prof. Dr. Flávio Gonçalves de Jesus e Prof. Dra. Cleonice Borges Souza, para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado **Uso de Remineralizadores e Microrganismos Eficientes e Seus Efeitos na Cultura da Soja** de Marcos Vinícius Marques, estudante do curso de Pós graduação Lato Sensu em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Urutaí, sob Matrícula nº 2024101304260009. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO, do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus, 20 de setembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ELIANA PAULA FERNANDES BRASIL
Data: 02/10/2025 21:32:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Eliana Paula Fernandes Brasil Orientador(a)

Documento assinado digitalmente
 FLAVIO GONCALVES DE JESUS
Data: 19/10/2025 21:05:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Flávio Gonçalves de Jesus

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 CLEONICE BORGES DE SOUZA
Data: 08/10/2025 08:29:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Cleonice Borges Souza

Membro da Banca Examinadora



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Marcos Vinícius Marques

Matrícula:

2024101304260009

Título do trabalho:

Uso de Remineralizadores e Microrganismos Eficientes e seus Efeitos na Cultura da Soja

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☐ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12 / 12 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☐ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.



Documento assinado digitalmente
MARCOS VINÍCIUS MARQUES
Data: 13/01/2026 16:02:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Goânia

Local

04 / 12 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente
ELIANA PAULA FERNANDES BRASIL
Data: 09/12/2025 06:49:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus, fonte de sabedoria e força, por me sustentar em cada passo desta caminhada e me conceder coragem para superar os desafios ao longo desta trajetória. Dedico também à minha família, em especial à minha mãe Nilda, à minha esposa Daianny e à minha irmã Miriam, que estiveram sempre ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, amor, compreensão e incentivo em todos os momentos. A presença e a força de cada uma foram essenciais para a concretização desta conquista acadêmica e pessoal. Estendo esta dedicatória, ainda, a todos que acreditam no poder transformador da pesquisa científica como instrumento para o fortalecimento de uma agricultura mais sustentável, justa e responsável com as futuras gerações.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano, pela oportunidade de formação e aprimoramento acadêmico. Às instituições de fomento e apoio, FAPEG, FUNAPE, IF Goiano e CEBIO, cujo suporte foi fundamental para a consolidação deste trabalho.

A minha orientadora Professora Eliana Brasil, pela dedicação, aos professores do curso, pelo empenho e qualidade com que conduziram as aulas, transmitindo não apenas conhecimento, mas também inspiração e motivação ao longo da jornada acadêmica.

À equipe da coordenação pedagógica e administrativa, pelo profissionalismo, disponibilidade e apoio contínuo, garantindo as condições necessárias para o bom andamento do curso.

Por fim, à minha família, que esteve sempre presente, oferecendo suporte, incentivo e compreensão em cada etapa desta trajetória, tornando possível a concretização deste objetivo.



BIOGRAFIA

Marcos Vinicius Marques, nascido em 23 de dezembro de 1982, na zona rural de Orizona, Goiás, é filho de Nilda Pereira de Almeida Marques e Aldorando Marques Ferreira. Concluiu a educação básica na Escola Estadual Constâncio Gomes e o ensino médio no Colégio Estadual de Orizona, em 2000. Graduou-se em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) em 2004 e, atualmente, exerce a função de Técnico Administrativo Educacional na Universidade Federal de Goiás (UFG).

LISTA DE FIGURAS/ QUADROS

Figura 1 – Modelo de funcionamento dos remineralizadores	17
Figura 2 – Classificação dos produtos biológicos de controle	20
Figura 3 – Uso de bioinsumos por cultura no Brasil.....	21
Quadro 1 – Pesquisas sobre uso de Remineralizadores e Microrganismos Eficientes na cultura da soja	25

LISTA DE SIGLAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

EM - Microrganismos Eficientes

FBN - Fixação Biológica de Nitrogênio

FMX - Produto de Referência (Fertilizante Mineral Misto)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

KCl - Cloreto de Potássio

LAM - Latossolo Amarelo

LVd - Latossolo Vermelho Distrófico

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MIP - Manejo Integrado de Pragas

NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio

NV - Número de Vagens

PNF 2050 - Plano Nacional de Fertilizantes 2050

REM - Remineralizadores de Solo

TSI - Tratamento de Sementes Industrial

RESUMO

O uso de remineralizadores e microrganismos eficientes na cultura da soja tem se consolidado como uma estratégia promissora para elevar a produtividade, otimizar componentes de rendimento e reduzir impactos ambientais associados à agricultura intensiva. Considerando que a agricultura global enfrenta o desafio de produzir alimento em maior escala com menor pressão sobre os ecossistemas, destaca-se o potencial dos bioinsumos, especialmente remineralizadores como basalto e microgabro, cuja eficiência está relacionada ao tipo de material, dose aplicada e sistema de manejo do solo, influenciando diretamente na produção e no rendimento final da cultura. Paralelamente, microrganismos eficientes como *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum* demonstram capacidade de potencializar a absorção de nutrientes, favorecer o crescimento vegetativo e melhorar o desempenho da cultura, sobretudo quando empregados de forma integrada a remineralizadores ou outras práticas de manejo conservacionistas. Para embasar esta revisão, realizou-se uma seleção criteriosa de dez estudos científicos recentes considerados os mais relevantes sobre o tema, que subsidiaram a construção teórica e a discussão dos resultados. Os dados foram organizados de maneira temática, possibilitando uma análise qualitativa consistente acerca dos efeitos e das perspectivas do uso associado de remineralizadores e microrganismos eficientes na promoção da diversidade biológica do solo e no manejo sustentável da soja. Os resultados indicam que a eficácia desses insumos depende da combinação de espécies microbianas, do momento de aplicação e das condições ambientais presentes no sistema de cultivo. Este artigo apresenta, portanto, uma revisão crítica da literatura recente, evidenciando o potencial desses bioinsumos como ferramenta de inovação para a agricultura sustentável e de alta performance.

Palavras-chave: Bioinsumos, Rochagem, Inoculantes microbianos, Agricultura Sustentável

ABSTRACT

The use of remineralizers and efficient microorganisms in soybean cultivation has consolidated itself as a promising strategy to increase productivity, optimize yield components, and reduce environmental impacts associated with intensive agriculture. As global agriculture faces the challenge of producing food on a larger scale with reduced ecological pressure, the potential of bioinputs stands out—particularly remineralizers such as basalt and microgabbro, whose efficiency is influenced by mineral composition, application rate, and soil management system, directly affecting crop production and final yield. In parallel, efficient microorganisms such as *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* and *Trichoderma harzianum* demonstrate the ability to enhance nutrient absorption, promote vegetative growth, and improve crop performance, especially when combined with remineralizers or other conservation management practices. To support this review, a careful selection of ten recent and relevant scientific studies was conducted, forming the basis for theoretical construction and discussion of results. The data were organized thematically, allowing for a consistent qualitative analysis of the effects and perspectives of using remineralizers in association with efficient microorganisms in promoting soil biological diversity and sustainable soybean management. The results indicate that the effectiveness of these bioinputs depends on factors such as microbial species combinations, application timing, and environmental conditions within the cropping system. This article therefore presents a critical literature review, highlighting the potential of these bioinputs as an innovative tool for productive and environmentally sustainable agriculture.

Keywords: Bioinputs, Rock dust, Microbial inoculants, Sustainable agriculture

SUMARIO

Lista de Quadros/ Figuras	10
Lista de Siglas	11
Resumo	12
Abstract	13
1. Introdução	15
2. Objetivo Geral	18
2.1 Objetivos Específicos.....	18
3. Revisão de Literatura	19
3.1 Remineralizadores.....	19
3.2 Microrganismos Eficientes (ems).....	22
3.3 A cultura da Soja	25
4. Metodologia	27
5. Resultados e Discussão	28
6. Considerações Finais	34
7. Referências.....	36

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura contemporânea, o modelo predominante de adubação baseia-se na utilização de fertilizantes industrializados, especialmente aqueles de alta solubilidade, como os formulados à base de NPK — que combinam nitrogênio, fósforo e potássio em proporções variadas, conforme as necessidades da cultura e do tipo de solo. Além desses macronutrientes, são frequentemente adicionados micronutrientes específicos, dependendo das características da lavoura (Toscani; Campos, 2017). No entanto, por serem compostos solúveis, esses insumos tendem a ser facilmente carregados pela água da chuva ou da irrigação, processo conhecido como lixiviação. Isso reduz sua eficiência ao longo do tempo e força o agricultor a reaplicar os fertilizantes a cada novo ciclo produtivo, gerando uma dependência tanto do sistema agrícola em relação ao insumo externo quanto do solo em relação à reposição artificial de nutrientes (Brito et al., 2019).

Embora o uso intensivo de fertilizantes químicos tenha desempenhado um papel significativo no aumento da produtividade agrícola ao longo dos últimos anos, esse modelo vem acarretando sérios impactos ambientais, especialmente no que se refere à saúde dos solos e à sustentabilidade dos ecossistemas. De acordo com Yadav et. al (2023), a utilização recorrente de adubos nitrogenados e fosfatados tem contribuído para o empobrecimento da estrutura física e biológica do solo, resultando na redução da biodiversidade de organismos que habitam e sustentam os processos vitais do solo.

Assim a agricultura global enfrenta o desafio de aumentar a produção alimentar enquanto reduz impactos ambientais negativos. Dessa forma, medidas de manejo sustentável do solo para a produção de alimentos são fundamentais para reduzir os impactos ambientais causados pela aplicação excessiva de adubos minerais e assegurar a manutenção da produtividade. Nesse sentido, entre as estratégias emergentes, destacam-se os remineralizadores e os microrganismos eficientes. Os remineralizadores são insumos de origem natural, obtidos da moagem de rochas, que promovem a liberação gradual de nutrientes no solo, melhorando sua fertilidade a longo prazo (BRASIL, 2013). Já os microrganismos eficientes, como bactérias promotoras do crescimento de plantas e fungos micorrízicos, são microrganismo que atuam diretamente no ciclo de nutrientes e no desenvolvimento radicular, proporcionando maior eficiência no uso de recursos naturais (EMBRAPA,2016).

Estudos têm demonstrado resultados promissores com a utilização dessas tecnologias na cultura da soja. Para isso, bioinsumos têm sido introduzidos como alternativas promissoras frente ao modelo convencional que depende de insumos químicos (Santos et al., 2022).

Segundo o decreto n. 10.375, de 2024, em seu artigo 2, bioinsumos são:

Produto, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, incluído o oriundo de processo biotecnológico, ou estruturalmente similar e funcionalmente idêntico ao de origem natural, destinado ao uso na produção, na proteção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários ou nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfira no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos, do solo e de substâncias derivadas e que interaja com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos .

Os remineralizadores, como os pós de rocha, têm se mostrado eficazes na reposição de nutrientes essenciais ao solo, entre eles o fósforo, cuja disponibilidade natural frequentemente é limitada. Um exemplo prático é o uso de rochas carbonatíticas finamente moídas, que atuam como fontes alternativas de fósforo. Estudos demonstram que, quando utilizados em conjunto com adubos convencionais como o superfosfato simples, esses materiais podem elevar significativamente o crescimento vegetal (Richardi, 2023)

Por outro lado, os microrganismos eficientes desempenham funções essenciais na dinâmica do solo, atuando diretamente na ciclagem de nutrientes e na promoção da saúde edáfica. Esses microrganismos auxiliam na decomposição da matéria orgânica e na solubilização de nutrientes, como o fósforo, que frequentemente está presente em formas químicas indisponíveis para as plantas. A aplicação de inoculantes contendo microrganismos eficientes tem se mostrado uma alternativa eficaz para aumentar a absorção de nutrientes pelas plantas, podendo até substituir parcialmente o uso de adubos sintéticos (Pacheco & Damasio, 2012).

Além do aporte nutricional, os microrganismos eficientes contribuem para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Sua atuação beneficia a estrutura do solo, favorecendo a infiltração de água, aeração e retenção de nutrientes, ao mesmo tempo que auxilia no controle de processos degradativos, como a erosão e a salinização. Com isso, seu uso representa uma estratégia promissora para restaurar solos

degradados e manter a produtividade agrícola de forma sustentável (Pacheco & Damasio, 2012).

Nesse contexto, a presente revisão sistematizada tem como objetivo analisar criticamente o uso de remineralizadores e microrganismos eficientes na cultura da soja, avaliando seus efeitos na diversidade biológica do solo, no crescimento vegetativo e na produtividade, bem como suas contribuições para a sustentabilidade agrícola. A escolha do tema justifica-se pela necessidade de consolidar evidências científicas sobre alternativas que reduzam a dependência de fertilizantes químicos, promovam solos mais saudáveis e fortaleçam sistemas agrícolas ambientalmente responsáveis, oferecendo subsídios para práticas de manejo mais sustentáveis.

2. Objetivo Geral

- Analisar a literatura científica sobre o uso de remineralizadores e microrganismos eficientes, suas contribuições para a diversidade biológica do solo e a promoção do crescimento da soja, avaliando benefícios, e perspectivas.

2.1 Objetivos Específicos

- Analisar criticamente a eficácia agrônômica dos remineralizadores do solo, comparando seu impacto na produtividade de grãos e nas características de rendimento da soja (número e peso de vagens), considerando a influência de variáveis como dose de aplicação e sistema de plantio.
- Sintetizar e discutir os efeitos de inoculantes e coinoculações com microrganismos promotores de crescimento de plantas na fisiologia e no desenvolvimento da soja, suas interações sinérgicas e antagônicas que impactam a produtividade e o acúmulo de biomassa.
- Avaliar e contextualizar a variabilidade dos resultados encontrados na literatura, correlacionando o desempenho dos bioinsumos com fatores bióticos e abióticos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Remineralizadores

De acordo com a definição estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013), os remineralizadores são materiais de origem mineral que passaram exclusivamente por processos físicos de moagem e separação granulométrica, ou seja, não são submetidos a transformações químicas ou térmicas.

Quando aplicados ao solo, esses materiais atuam diretamente na melhoria da fertilidade, fornecendo macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, além de contribuírem para o aprimoramento das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo (BRASIL, 2013).

Em termos práticos, os remineralizadores consistem em rochas moídas compostas por minerais que liberam gradativamente elementos nutritivos e substâncias consideradas benéficas para o crescimento vegetal. Essa liberação lenta e constante favorece o suprimento contínuo de nutrientes, reduzindo a necessidade de adubações frequentes e contribuindo para a estabilidade do sistema agrícola. Pesquisas realizadas com a aplicação de remineralizadores de origem silicática demonstraram que esses materiais são capazes de liberar quantidades significativas de nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe). Tais nutrientes são particularmente expressivos em solos originalmente pobres, contribuindo para sua reabilitação e melhor desempenho produtivo (Lopes et al., 2013).

Ademais pesquisas conduzidas por Alovisei et al. (2020) evidenciaram que a utilização do pó de basalto — um tipo de remineralizador derivado de rocha — favorece a liberação progressiva de nutrientes essenciais como potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Esse processo de liberação lenta proporciona um suprimento contínuo de minerais ao longo do ciclo das culturas, contribuindo para o aumento da fertilidade do solo. Além de indicar que o uso desse tipo de insumo mineral natural pode fortalecer o metabolismo vegetal, tornando as plantas mais resistentes ao ataque de pragas.

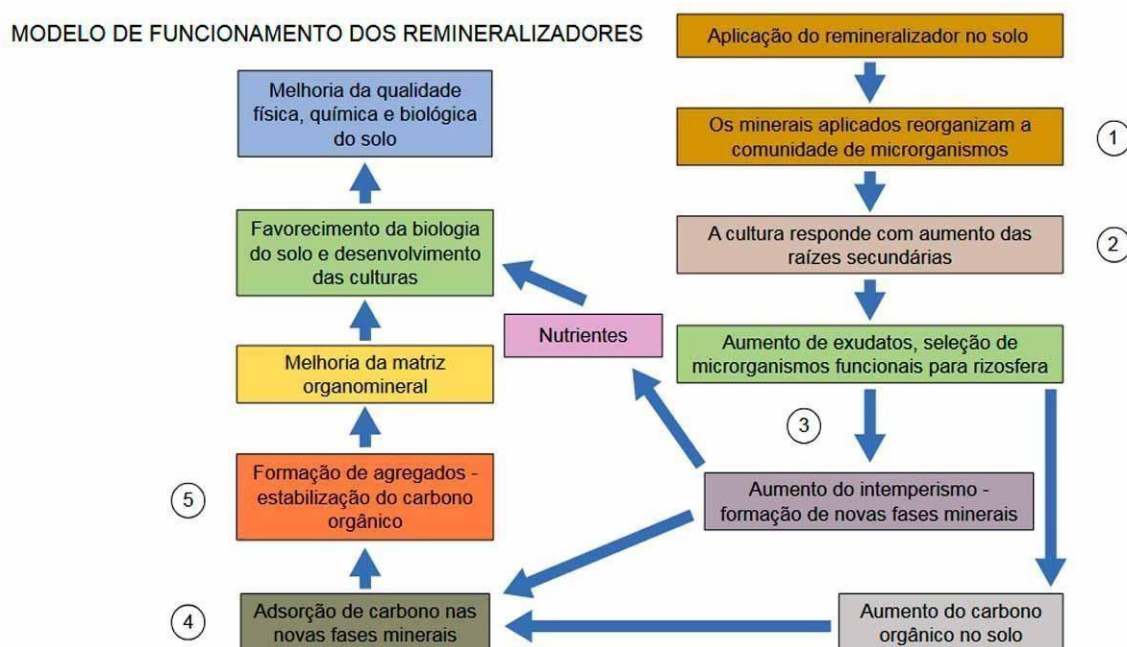
A figura 1 apresenta um modelo de funcionamento dos remineralizadores no solo, destacando os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem após a aplicação desses insumos. Onde a aplicação do remineralizador no solo é o ponto de partida, desencadeando uma série de respostas interligadas. Inicialmente, os minerais presentes

no remineralizador reorganizam a comunidade de microrganismos (etapa 1), promovendo mudanças na microbiota do solo que podem melhorar a disponibilidade de nutrientes e estimular a atividade biológica. Em resposta, a cultura apresenta aumento das raízes secundárias (etapa 2), ampliando a exploração do solo e a absorção de nutrientes essenciais.

A dinâmica radicular favorece o aumento de exudatos e a seleção de microrganismos funcionais para a rizosfera (etapa 3), o que reforça a relação simbiótica entre plantas e microbiota, além de estimular o intemperismo e a formação de novas fases minerais. Esse processo contribui para a adsorção de carbono nas novas fases minerais (etapa 4), promovendo assim a formação de agregados e a estabilização do carbono orgânico (etapa 5).

Ainda é destacado o efeito sistêmico dos remineralizadores sobre o solo: ocorre melhoria da qualidade física, química e biológica, aumento do carbono orgânico, e favorecimento da biologia do solo, que retroalimenta o desenvolvimento das culturas.

Figura 1: Modelo de Funcionamento dos Remineralizadores



Fonte: Martins 2018

Além da função nutricional direta, os remineralizadores promovem efeitos positivos sobre parâmetros importantes da química do solo, como a capacidade de troca de cátions e o pH. Essas melhorias afetam diretamente a disponibilidade de nutrientes e

a atividade microbiológica, influenciando positivamente o equilíbrio ecológico do solo (Toscani; Campos, 2017)

Devido ao Brasil, estar entre os maiores consumidores mundiais de fertilizantes, apresenta uma das mais altas taxas de dependência externa na importação desses insumos. O país importa a totalidade dos fertilizantes nitrogenados, além de 73,8% dos fosfatados e 98% dos potássicos. Essa dependência estrutural coloca o setor agrícola nacional em uma posição de vulnerabilidade estratégica, especialmente considerando sua relevância para a economia brasileira, dado o peso significativo da agropecuária na composição do Produto Interno Bruto (BRASIL, 2021).

Essa fragilidade ficou particularmente evidente diante de eventos geopolíticos recentes, como os conflitos no Leste Europeu e no Oriente Médio, que impactaram fortemente os mercados globais de fertilizantes. Os preços desses insumos aumentaram expressivamente, impulsionados pelas incertezas quanto à continuidade do fornecimento e às dificuldades logísticas relacionadas ao transporte. Paralelamente, fenômenos climáticos extremos, como secas severas, enchentes, incêndios florestais descontrolados e chuvas intensas, agravaram ainda mais a crise, comprometendo áreas produtivas e acelerando a degradação do solo, com a remoção de camadas férteis e a desestruturação dos sistemas agrícolas estabelecidos (Martins et al., 2023).

Frente a esse cenário crítico, o governo brasileiro se viu obrigado a adotar medidas estratégicas, entre elas a implementação do Plano Nacional de Fertilizantes (PNF 2050), que propõe diretrizes e metas voltadas à redução da dependência externa por meio do incentivo a fontes alternativas e sustentáveis de fertilização. Nesse contexto, os remineralizadores de solo (REM) vêm ganhando destaque. Essas tecnologias utilizam materiais minerais primários abundantes no território nacional, promovendo o enriquecimento do solo com nutrientes essenciais de maneira mais acessível economicamente e ambientalmente sustentável (BRASIL, 2021).

Além de seu potencial para suprir a demanda nutricional das plantas, os remineralizadores possuem a vantagem de estar amplamente distribuídas regionalmente, o que reduz custos logísticos e promove o desenvolvimento de cadeias produtivas locais (Martins et al., 2023).

3.2 Microrganismos eficientes (EMs)

Com o objetivo de promover sistemas agrícolas mais sustentáveis e produtivos, a agricultura tem enfatizado o aproveitamento da biodiversidade e dos processos ecológicos naturais como forma de suprir as demandas nutricionais das culturas, proteger contra patógenos e minimizar a degradação dos ecossistemas produtivos (Altieri, 2018). Nesse contexto, os Microrganismos Eficientes (EM) despontam como uma alternativa biotecnológica relevante, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo, da sanidade vegetal e da produtividade agrícola, sobretudo em sistemas de base agroecológica.

Os microrganismos eficientes são inoculantes que contêm consórcios microbianos vivos, incluindo bactérias fixadoras de nitrogênio (*Rhizobium* spp.), solubilizadoras de fósforo (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.), fungos micorrízicos arbusculares e outras espécies promotoras do crescimento (Higa & Parr, 1994).

A Figura 2 apresenta a classificação dos produtos biológicos de controle utilizada no Brasil, conforme diretrizes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019). Essa classificação organiza os produtos em dois grandes grupos: substâncias químicas naturais e agentes biológicos de controle.

O primeiro grupo, substâncias químicas naturais, inclui compostos que não são organismos vivos, mas que apresentam ação indireta no manejo de pragas e doenças. Ele é subdividido em:

Semioquímicos, que são moléculas sinalizadoras capazes de induzir respostas comportamentais nos organismos-alvo, como os feromônios e os aleloquímicos, amplamente utilizados no manejo integrado de pragas (MIP) para monitoramento e interrupção de acasalamento.

Bioquímicos, de origem natural, que apresentam efeito sobre o crescimento e desenvolvimento de pragas ou patógenos, como hormônios reguladores de crescimento e enzimas.

O segundo grupo, agentes biológicos de controle, corresponde a organismos vivos empregados para suprimir populações de pragas e doenças, divididos em:

Microbiológicos: incluem vírus, bactérias, protozoários e fungos (microrganismos eficientes), que atuam como patógenos naturais de insetos, ácaros e fitopatógenos, efetuam ciclagem de nutrientes. Esses organismos têm grande relevância na agricultura sustentável, principalmente em culturas como soja, milho e hortaliças, reduzindo a dependência de agrotóxicos químicos e propiciando melhor produtividade.

Macrobiológicos: incluem insetos, ácaros e nematoides benéficos, utilizados como inimigos naturais no controle biológico clássico e aumentativo. Eles exercem papel fundamental na regulação populacional de pragas em sistemas agrícolas.

Figura 2: Classificação dos Produtos Biológicos de Controle



Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); 2019

Fonte: Ministério da agricultura e pecuária e abastecimento (MAPA, 2019)

A aplicação dos microrganismos eficientes foi originalmente proposta pelo professor Teruo Higa, no Japão, na década de 1970. Essa tecnologia se baseia na utilização de microrganismos presentes em ecossistemas conservados que desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes. Esses microrganismos, ao serem introduzidos em ambientes agrícolas, contribuem para a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes essenciais às plantas. Entre os microrganismos utilizados, destacam-se os decompositores facultativos, os fotossintetizantes, entre outros que atuam na promoção do crescimento vegetal e na resistência a doenças (Ávila, 2019).

Embora a prática já seja conhecida há décadas, seu uso tem ganhado destaque recentemente devido ao avanço da agricultura orgânica e da conscientização sobre os impactos ambientais negativos de sistemas convencionais. Estudos como os de Ávila (2019) indicam que o uso dos EM promove incremento da produção, melhora na fitossanidade das plantas e redução dos custos de produção.

A figura 3 mostra a distribuição percentual do uso de bioinsumos nas principais culturas agrícolas brasileiras, conforme levantamento da CropLife Brasil (2021), destacando a soja como principal cultura (55%), seguida pelo milho (27%) e pela cana-de-açúcar (12%). A soja lidera devido à sua importância econômica e ao uso consolidado de inoculação e Co inoculação para fixação biológica de nitrogênio. No milho, os bioinsumos são aplicados principalmente como inoculantes e biofertilizantes, enquanto na cana-de-açúcar contribuem para o controle de pragas e melhor aproveitamento de nutrientes. Já algodão, café, citrus e hortifrutícolas somam 6%, mas, apesar do menor percentual, são culturas de alto valor agregado nas quais os bioinsumos têm papel importante no manejo sustentável.

Figura 3: Uso de Bioinsumos por Cultura no Brasil



Fonte: <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/> 2025.

De acordo com informações da Embrapa (2023), baseadas em dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), aproximadamente 40 milhões de hectares no Brasil já utilizam microrganismos eficientes como as bactérias promotoras de crescimento vegetal, enquanto cerca de 10 milhões de hectares fazem uso de diferentes tipos de bioinsumos no controle de pragas. Esses produtos apresentam aplicações variadas, que incluem a melhoria da qualidade do solo, o uso como defensivos agrícolas, o tratamento de resíduos

com aproveitamento para coprodutos, além de funções específicas como acaricidas, inseticidas, fungicidas e formicidas.

Evidencia-se assim a crescente adoção de bioinsumos no Brasil, em especial o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal e de agentes biológicos no controle de pragas, mostrando o avanço dessa tecnologia em áreas extensivas de cultivo. Onde nesse contexto, destaca-se o papel dos microrganismos eficientes (EM), que atuam de forma sinérgica na melhoria da fertilidade do solo, no equilíbrio da microbiota e na promoção da saúde das plantas e alinhando-se às demandas por uma agricultura mais sustentável.

3.3 A cultura da soja

A soja é uma planta pertencente à família Fabaceae (também conhecida como Leguminosae), subfamília Faboideae, classificada no gênero *Glycine* (L.) e, especificamente, na espécie *Glycine max*. Sua forma cultivada é reconhecida cientificamente como *Glycine max* (L.) Merrill (Nunes, 2016).

No contexto brasileiro, a cultura da soja começou a ganhar destaque estratégico a partir da segunda metade da década de 1960, tornando-se uma das principais atividades agrícolas do país. Desde então, sua importância só cresceu, consolidando-se como um dos principais produtos de exportação do Brasil. Esse crescimento foi ainda mais impulsionado no início dos anos 1970, com a valorização dos preços internacionais da soja, o que motivou fortemente os produtores rurais e despertou o interesse do governo brasileiro. O país, por contar com vantagens competitivas relevantes em relação a seus principais concorrentes, passou a investir cada vez mais na cadeia produtiva da oleaginosa (Dall'Agnol, 2016).

Entre os principais fatores que favoreceram esse avanço destacam-se as condições ambientais e climáticas favoráveis para o cultivo, além da infraestrutura estratégica para o escoamento da produção, que contribuiu para a inserção da soja no mercado internacional de forma competitiva. Paralelamente, o desenvolvimento tecnológico liderado principalmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desempenhou papel crucial ao promover inovações voltadas à adaptação da cultura às

diferentes regiões do país, com foco no aumento da produtividade e na eficiência dos sistemas de produção (EMBRAPA, 2019).

Um dos resultados mais expressivos desses investimentos foi o desenvolvimento de cultivares adaptadas às regiões de baixa latitude, localizadas entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio. Essa inovação possibilitou a expansão do cultivo da soja em áreas antes consideradas inadequadas, modificando de forma significativa o panorama mundial da produção da leguminosa. Essa transformação se consolidou especialmente entre o final dos anos 1980 e o início da década de 1990, marcando uma nova era para a agricultura brasileira (Dall'Agnol, 2016).

Atualmente, o Brasil ocupa, ao lado dos Estados Unidos, a posição de liderança na produção global de soja. Outros países com grande participação na produção são a Argentina, a China e a Índia — estes dois últimos, inclusive, fazem parte das regiões originais de domesticação da soja (Embrapa, 2019).

A soja é uma das commodities agrícolas mais importantes do Brasil, que atualmente é o segundo maior produtor mundial (Conab, 2023). O grão é base para a produção de óleo, farelo e biocombustíveis, e seu cultivo ocupa cerca de 38 milhões de hectares no país (IBGE, 2023). Assim a relevância econômica da soja está relacionada à geração de divisas pela exportação e ao suporte à cadeia produtiva do agronegócio

4 METODOLOGIA

A presente revisão sistematizada contemplou artigos científicos, publicados em língua portuguesa, periódicos indexados, disponíveis nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico e no Portal de Periódicos da CAPES. Para a busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “remineralizadores de solo”, “microrganismos eficientes”, “soja”, “diversidade biológica do solo” e “agricultura sustentável no período de 2009 a 2024.

No total, foram identificados cinquenta artigos que abordavam aspectos experimentais, revisões e estudos de caso relacionados ao uso de remineralizadores e microrganismos eficientes na cultura da soja. A partir desse conjunto, realizou-se uma seleção criteriosa dos dez trabalhos mais relevantes, que subsidiaram a fundamentação teórica e a discussão dos resultados desta pesquisa.

Os dados foram organizados de forma temática, permitindo uma análise qualitativa consistente acerca dos efeitos e das perspectivas do uso desses bioinsumos na promoção da diversidade biológica do solo e no manejo sustentável da cultura da soja.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de um total de cinquenta artigos científicos, extraídos de bases de dados acadêmicas, SciELO, Google Acadêmico e no Portal de Periódicos da CAPES, foi realizada uma seleção criteriosa de dez trabalhos mais relevantes para fundamentar esta pesquisa. Na sequência, será apresentada uma síntese comparativa dos achados, com foco na análise do impacto desses insumos nas principais variáveis agronômicas da cultura, visando contribuir com uma visão estratégica para o manejo sustentável da soja.

Quadro 1 – Artigos Sobre uso de Remineralizadores e Microrganismos Eficientes na cultura da soja

Artigo	Referência
Eficiência Agronômica de Remineralizador do Solo de Micaxisto na Sucessão Milheto-Soja	De Castro (2022)
Remineralizador de solo organic cal como fonte de fertilizante natural para cultura da soja	Pereira et al(2022)
Consórcio de remineralizadores de solo utilizado na cultura da soja em solos da região de cerrado	Junior et al(2022)
Remineralizador de Solo na Cultura da Soja em Diferentes Sistemas de Plantio e Modos de Aplicação	Bono (2023)
Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (glycine max) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante"	Junior et al(2020)
Promoção de crescimento vegetal por microrganismos em associação com hidrogel na cultura da soja	Fidelis (2023)
Inoculação e coinoculação da soja com Bradyrhizobium japonicum, Azospirillum brasilense e microrganismos eficazes	Ribeiro (2020)
Avaliação da eficiência do uso de solubilizador de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja em são Luiz Gonzaga - RS	Lhautharte (2021)
Uso de bacillus subtilis no incremento da produção na cultura da soja	Louro (2024)
Influência da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas no crescimento e produtividade da cultura da soja	Biasotto (2024)

A análise dos estudos sobre remineralizadores na cultura da soja evidencia o potencial desses insumos como alternativa ou complemento aos fertilizantes minerais convencionais, sobretudo no contexto da sustentabilidade agrícola. Entretanto, a eficiência observada varia de acordo com a natureza do remineralizador, as doses aplicadas, o tipo de solo e o sistema de cultivo utilizado.

No trabalho de De Castro (2022), avaliando o remineralizador de micaxisto HVB-K em sucessão milheto-soja, verificou-se que este remineralizador apresentou eficiência agrônômica semelhante ao fertilizante de referência (FMX), embora necessitando de doses mais elevadas para se equiparar ao cloreto de potássio (KCl). Isso demonstra que o micaxisto possui capacidade de liberar potássio de forma gradual e consistente, promovendo ganhos em produtividade, mas com menor eficiência imediata quando comparado a fontes solúveis de alta disponibilidade, como o KCl. Houve incremento significativo na produtividade até 240 kg ha⁻¹ de K₂O no LAM e até 160 kg ha⁻¹ no LVd, evidenciando que a resposta do remineralizador varia conforme a textura do solo, sendo mais eficiente em ambientes de menor retenção de nutrientes. Esse resultado reforça a ideia de que remineralizadores funcionam como fontes de liberação lenta, podendo ser estratégicos em sistemas de médio e longo prazo, mas ainda demandam otimização de doses.

Por outro lado, o estudo com “organic cal” de Pereira et al (2022), demonstrou estabilidade produtiva e atingiu ponto de máxima eficiência técnica de 4.250 kg ha⁻¹, mesmo sem alterações significativas em variáveis secundárias como população, altura e número de vagens por planta. Essa estabilidade sugere que remineralizadores de natureza calcária podem atuar de maneira indireta na melhoria da fertilidade do solo e na manutenção da produtividade, ampliando o horizonte para seu uso em sistemas de produção que buscam reduzir custos com adubos solúveis.

Os resultados de Júnior et al. (2022), ao avaliarem consórcios de remineralizadores (micaxisto, basalto e fosfato natural reativo) em combinação com fertilizantes minerais, apontam para uma estratégia promissora. O consórcio mostrou desempenho comparável ao uso isolado de fertilizantes solúveis, sugerindo sinergias no fornecimento gradual de macro e micronutrientes. Isso é particularmente relevante, pois indica a possibilidade de reduzir a dependência de fontes minerais importadas de alta solubilidade, sem perdas expressivas de produtividade. A produtividade apresentou diferenças estatísticas entre tratamentos, sendo que o maior rendimento (3.967 kg ha⁻¹)

ocorreu no tratamento T4 (KCl + basalto + fosfato natural reativo). Entretanto, outros tratamentos com micaxisto e basalto apresentaram produtividades semelhantes, com diferenças relativamente pequenas em relação ao KCl. Esse achado é central: indica que, mesmo com menor solubilidade, os remineralizadores, especialmente em consórcios, conseguem se aproximar da eficiência dos fertilizantes solúveis no curto prazo, com a vantagem de menor custo e efeito residual positivo para safras seguintes.

Bono (2023) trouxe uma contribuição importante ao evidenciar que a eficiência dos remineralizadores de basalto varia conforme o sistema de manejo. No plantio convencional, a produtividade atingiu até 5.530 kg ha^{-1} , enquanto no plantio direto o ponto de máxima resposta foi menor (4.020 kg ha^{-1}). Esse achado demonstra que o efeito do remineralizador não depende apenas do material utilizado, mas também da interação com o sistema de preparo do solo, destacando a necessidade de estratégias diferenciadas para sua recomendação agronômica.

Já Junior et al. (2020), avaliando o pó de rocha (microgabro), observaram produtividades superiores a 5.300 kg ha^{-1} , com ganhos progressivos à medida que as doses aumentaram. Além da produtividade, esse estudo evidenciou efeitos positivos no número de vagens por planta, especialmente em doses mais elevadas, o que sugere influência direta na formação reprodutiva da soja. Diferentemente de outros trabalhos, este destacou um impacto agronômico mais claro em variáveis secundárias, reforçando que a resposta da soja pode variar significativamente em função do tipo de remineralizador.

De modo geral, os estudos convergem ao apontar que, embora nem sempre promovam diferenças significativas em variáveis como população e altura de plantas, os remineralizadores contribuem de maneira consistente para ganhos de produtividade, seja pela liberação gradual de nutrientes ou pelo efeito indireto na fertilidade e na saúde do solo. Assim, constituem uma estratégia viável dentro de um manejo sustentável, promovendo diversificação das fontes de nutrientes, redução da dependência de fertilizantes importados e melhor uso dos recursos locais. Ainda que doses mais elevadas sejam frequentemente necessárias para alcançar desempenhos próximos ao KCl, a longo prazo esses insumos podem se tornar peças-chave em sistemas agrícolas, eficientes e ambientalmente sustentáveis.

Já a análise dos trabalhos sobre o uso de microrganismos eficientes na cultura da soja mostra que os ME representam uma estratégia promissora para incremento de produtividade e melhoria de componentes agronômicos. Contudo, os resultados apontam que a eficácia desses bioinsumos não é uniforme, sendo influenciada por fatores ambientais, condições de manejo e, sobretudo, pela interação entre os microrganismos e o ambiente de cultivo.

Fidelis (2023) demonstrou que os tratamentos que combinaram microrganismos eficientes com hidrogel exerceram influência significativa sobre diversas características da cultura da soja, destacando-se a produtividade, medida pela massa de grãos, como o parâmetro mais sensível à eficácia dos tratamentos. A análise de variância indicou efeito significativo a 1% de probabilidade. Os tratamentos *Bacillus subtilis* + *Trichoderma harzianum* + Hidrogel e Hidrogel isolado apresentaram as maiores médias, em torno de 4,00 g, embora não diferindo estatisticamente de outros tratamentos, como *B. subtilis* + Hidrogel, *T. harzianum* + Hidrogel e *B. subtilis* + *Pochonia chlamydosporia* + *T. harzianum* + Hidrogel. Esses resultados sugerem que o hidrogel, isolado ou em combinação com microrganismos, promoveu a otimização das condições de crescimento, refletindo em maior massa de grãos. O destaque do tratamento *B. subtilis* + *T. harzianum* + Hidrogel indica uma possível sinergia, que pode ter potencializado a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses ambientais.

Em relação ao número de vagens por planta, não foram observadas diferenças estatísticas, com médias variando de 19,33 a 26,67, sugerindo que os ganhos na produtividade podem estar mais relacionados ao aumento da massa individual dos grãos do que ao incremento do número de vagens. Para a altura de plantas, a análise de variância indicou efeito significativo, com a maior média (46,33 cm) registrada no tratamento Testemunha, sem diferir estatisticamente de tratamentos que incluíram *B. subtilis* + Hidrogel ou *B. subtilis* + *P. chlamydosporia* + Hidrogel. O menor valor (34,33 cm) foi observado no tratamento *P. chlamydosporia* + *T. harzianum* + Hidrogel, sugerindo que os tratamentos não promovem necessariamente crescimento vegetativo em altura, possivelmente redirecionando a energia da planta para o desenvolvimento radicular ou para o enchimento de grãos.

Ribeiro (2020) corrobora parcialmente esses achados, mostrando que a produtividade de grãos não diferiu significativamente entre a testemunha e a coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense*, embora numericamente a

coinoculação tenha atingido 1695,56 kg ha⁻¹. O número de vagens por planta também não variou significativamente, indicando que a fixação biológica de nitrogênio não foi fator limitante, possivelmente influenciada por estiagens durante a floração. A altura das plantas apresentou ganho numérico de 8 cm na coinoculação, sem significância estatística, enquanto o peso de 100 grãos apresentou diferença significativa, evidenciando que a inoculação favoreceu o enchimento dos grãos mesmo sem alterar a produtividade total.

Lhautharte (2021) avaliou o uso do solubilizador de fósforo BiomaPhos, contendo *B. subtilis* e *B. megaterium*, e constatou que a aplicação antecipada em sementes (TSI 7 dias antes do plantio – T3) resultou em aumento de produtividade de 3,7%, equivalente a 186 kg ou 3,1 sacas/ha, superando a aplicação no momento do plantio (T4 – 1,5%). O número e peso de legumes aumentaram significativamente no T3 (26,6% e 24,7%) e no T4 (22,7% e 35,3%), mostrando que maior disponibilidade de fósforo favoreceu o desenvolvimento e enchimento das vagens. O diâmetro do caule e o volume de fitomassa também apresentaram incrementos positivos, refletindo robustez da parte aérea, enquanto o desenvolvimento radicular foi mais expressivo no T4, sem interferência na nodulação, preservando a fixação biológica de nitrogênio.

Louro (2024) analisou a aplicação de *Bacillus subtilis*, identificando efeitos positivos em componentes de produtividade, especialmente número de vagens por planta (73,10 vs. 59,60 do controle) e número de grãos por vagem (2,21 vs. 2,02 do controle), embora a massa de 100 grãos não tenha diferido significativamente, possivelmente em função de estresses ambientais como altas temperaturas durante a floração. Esses resultados evidenciam que o microrganismo contribui de forma direta para a formação de componentes-chave do rendimento da soja.

Biasotto (2024) verificou que a coinoculação *Azospirillum brasilense* + *Bacillus aryabhattai* (Azo+Bac) foi a única superior ao controle, atingindo 3509 kg ha⁻¹, demonstrando sinergia entre microrganismos. A coinoculação de todos os microrganismos avaliados resultou em produtividade similar ao controle (2767 kg ha⁻¹ vs. 2720 kg ha⁻¹), sugerindo possível efeito antagônico. O número de vagens por planta foi elevado em coinoculações específicas, com Azo+Bac atingindo 84,83 vagens, enquanto o número de grãos por vagem não apresentou diferenças significativas, indicando que o aumento da produtividade se deveu principalmente à quantidade de

vagens e ao peso individual dos grãos. A altura das plantas também foi favorecida por inoculações isoladas e coinoculações, refletindo desenvolvimento aéreo mais vigoroso.

De forma geral, os estudos revisados indicam que o uso de microrganismos eficientes na soja é uma estratégia promissora para aumentar produtividade e otimizar componentes de rendimento, especialmente número de vagens e massa de grãos. No entanto, os resultados evidenciam que a eficácia depende de fatores como a combinação de espécies, o momento de aplicação e condições ambientais. Observa-se que a sinergia entre microrganismos e o uso de hidrogéis ou solubilizadores de fósforo potencializa o crescimento e enchimento de grãos, enquanto efeitos antagônicos ou limitações ambientais podem reduzir o impacto esperado. Portanto, recomenda-se que a aplicação desses bioinsumos seja planejada de forma estratégica, considerando fatores bióticos e abióticos, de modo a garantir resultados consistentes e sustentáveis para a produção de soja.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos trabalhos apontados nesse artigo que investigaram o uso de remineralizadores e microrganismos eficientes na cultura da soja demonstrou, que ambas as abordagens constituem alternativas promissoras e viáveis para a sustentabilidade da produção agrícola.

No caso dos remineralizadores, os resultados indicam que eles têm o potencial de aumentar a produtividade e a absorção de nutrientes, embora sua eficácia dependa criticamente da dose, do tipo de rocha e das condições específicas do solo e do sistema de cultivo. Estudos com micaxisto e basalto mostram que doses mais altas podem ser necessárias para se equiparar a fertilizantes solúveis, e que seus benefícios podem não ser evidentes em uma única safra, exigindo um acompanhamento de longo prazo. A ausência de diferenças significativas em variáveis como altura de planta e número de vagens, em contraste com o aumento na produtividade total, sugere que o principal mecanismo de ação dos remineralizadores pode ser o incremento na massa de grãos, um componente de rendimento crucial para a rentabilidade.

Em relação aos microrganismos eficientes, os estudos mostraram que a inoculação e, principalmente, a coinoculação podem proporcionar ganhos expressivos em produtividade. O uso de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*, tanto isoladamente quanto em combinação, influenciou positivamente a altura e o número de vagens por planta, refletindo em um aumento significativo da produção. A avaliação da eficiência de um solubilizador de fósforo, por sua vez, destacou que a aplicação antecipada em Tratamento de Sementes Industrial (TSI) resultou em ganhos importantes de produtividade, número de vagens e peso individual, além de otimizar o desenvolvimento do sistema radicular.

No entanto, as pesquisas também revelaram a complexidade dessas interações. A divergência de resultados com a literatura e a falta de significância estatística em algumas variáveis indicam que fatores como estresses ambientais (ex: estiagem, altas temperaturas) e a variabilidade do solo podem influenciar o desempenho desses bioinsumos. Além disso, um ponto de atenção fundamental é o potencial de antagonismo entre os microrganismos, como observado na coinoculação com todas as espécies, que pode anular os efeitos benéficos e resultar em produtividade similar à do controle.

Em síntese, a adoção de remineralizadores e microrganismos eficientes é uma estratégia cientificamente validada para a cultura da soja. Para maximizar seu potencial, faz-se necessário que a escolha e o manejo desses insumos sejam baseados não apenas na sua capacidade intrínseca, mas também no entendimento da sinergia entre as espécies microbianas e na adaptação às condições edafoclimáticas locais. A integração dessas práticas, somada a um manejo holístico, é o caminho para uma agricultura mais sustentável e economicamente viável.

7. REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A. **Agroecology: The science of sustainable agriculture**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018. Disponível em: [https:// DOI: 10.1201/9780429495465](https://doi.org/10.1201/9780429495465). Acesso em: 31 maio, 2025.

ALOVISI, A. M. T. et al. **Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos**. *Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Dourados, v. 9, n. esp., p. 918-932, 2020. Disponível em: [https://DOI: 10.19177/rgsa. v9e0I2020918-932](https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e0I2020918-932). Acesso em: 10 maio, 2025.

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. et al. **Fosfato natural reativo como remineralizador de solo utilizado na cultura da soja na região de Cerrado**. *Conjecturas*, v. 22, n. 9, p. 472-485, 2022. Disponível em: [https:// DOI: 10.53660/CONJ-1288-X56](https://doi.org/10.53660/CONJ-1288-X56). Acesso em: 3 junho, 2025.

ANDRADE, E. M. de et al. **Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado**. *Ciência Rural*, v. 1, p. 88–95, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v39n1/a14v39n1.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2025.

ÁVILA, Z. N. B. **Efeitos da utilização de microrganismos eficientes (EM) sobre a cultura de milho (Zea mays L.) variedade BRS Caimbé orgânico**. 2019. TCC (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11054>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BIASOTTO, J. V. C. **Influência da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas no crescimento e produtividade da cultura da soja**. 2024. Universidade Estadual Paulista, Dracena, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/3e198cfb-1836-4cc0-9373-5a86e9733a23>. Acesso em: 10 julho, 2025.

BONO, J. A. M.; DE ASSIS, T. E. **Remineralizador de solo na cultura da soja em diferentes sistemas de plantio e modos de aplicação**. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 27, n. 2, p. 243-252, 2023. Disponível em: [https:// DOI: 10.17921/1415-6938.2023v27n2p243-252](https://doi.org/10.17921/1415-6938.2023v27n2p243-252). Acesso em: 18 jul. 2025.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 16 de fevereiro de 2016.** Regulamenta os remineralizadores de solo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 02 maio, 2025.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/115070.htm. Acesso em: 08 junho, 2025.

BRASIL. **Decreto nº 10.375, de 07 de março de 2024.** https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/115070.htm. Acesso em: 01 junho, 2025.

BRASIL. **Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050).** Brasília, DF: SAE, 2021. 195 p. Disponível em: <https://www.gov.br/secretariageral/ptbr/noticias/2022/marco/planonacionaldefertilizantes.pdf>. Acesso em: 04 junho, 2025.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 20 jul. 2025.

CROPLIFE BRASIL. **Bioinsumos.** Disponível em: <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/>. Acesso em: 16 julh. 2025.

DE CASTRO, J. P. V. et al. **Eficiência Agronômica de Remineralizador do Solo de Micaxisto na Sucessão Milheto-Soja.** Research, Society and Development, v. 11, n. 14, p. e76111435864-e76111435864, 2022. Disponível em: <https://DOI:10.33448/rsd-v11i14.35864>. Acesso em: 16 julho, 2025.

DALL’AGNOL, A. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições.** Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1043614>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EMBRAPA. **Produção brasileira de remineralizadores e fertilizantes naturais: 2019 a 2023.** Brasília, DF: ABREFEN; Embrapa Cerrados; Ministério de Minas e Energia,

2024. (Revista Novo Solo, v. 1, n. 3, p. 10-19, 2023). Disponível em: <https://abrefen.org.br/2023/06/29/producao-brasileirade-remineralizadorese-ertilizantes-naturais-2019-a-2022/>. Acesso em: 1 julho. 2025.

FIDÉLIS, R. R. et al. **Promoção de crescimento vegetal por microrganismos em associação com hidrogel na cultura da soja**. Revista Eletrônica Interdisciplinar, v. 15, n. 3, 2023. Disponível em: <http://revista.sear.com.br/rei/article/view/335/398>. Acesso em: 10 julho. 2025.

HIGA, T.; PARR, J. F. **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Atami: International Nature Farming Research Center, 1994.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal. Rio de Janeiro, 2023**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 2 maio, 2025.

JÚNIOR, J. J. A. et al. **Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (glycine max) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 56835-56847, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-190>. Acesso em: 28 abril, 2025.

JÚNIOR, J. J. A. et al. **Consórcio de remineralizadores de solo utilizado na cultura da soja em solos da região de cerrado**. Conjecturas, v. 22, n. 9, p. 415-430, 2022. Disponível em: <https://DOI: 10.53660/CONJ-1285-X52>. Acesso em: 28 abril, 2025.

LAUTHARTE, D. et al. **A avaliação da eficiência do uso de solubilizador de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja em São Luiz Gonzaga-RS**. Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão da Uergs (SIEPEX), v. 1, n. 10, 2021. Disponível em: <https://pev-proex.uergs.edu.br/index.php/xsiepex/article/view/3629>. Acesso em: 25 junho, 2025.

LOPES, O. M. M.; COSTA, L. G.; LOPES-ASSAD, M. L. **Solubilização de pó de basalto por meio de vinhaça: variação de pH e nutrientes disponíveis**. Engenharia Ambiental, São Paulo, v. 10, p. 175-188, 2013. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/media/anais_ivcbr_2021.pdf Acesso em: 30 junho, 2025.

LOURO, A. et al. **Uso de *Bacillus subtilis* no incremento da produção na cultura da soja**. Cadernos de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7891>. Acesso em: 03 julho, 2025.

MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 16 de fevereiro de 2016. Regulamenta os remineralizadores de solo**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>. Acesso em: 12 abril, 2025.

NUNES, J. L. da S. **Características da Soja (*Glycine max*)**. Agrolink, 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/caracteristicas.aspx>. Acesso em: 24 jul. 2025.

PACHECO, S. M. V.; DAMASIO, F. **Aplicação de microrganismos disponibilizadores de fosfato imobilizados em alginato de cálcio na agricultura**. Revista Eletrônica de Biologia, v. 2, p. 184-204, 2013. Disponível em: <https://annalsmicrobiology.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13213-018-1392-5>. Acesso em: 3 abril, 2025.

PEREIRA, M. S. et al. **Remineralizador de solo organic cal como fonte de fertilizante natural para a cultura da soja**. Conjecturas, v. 22, n. 9, p. 513-526, 2022. Disponível em: [https:// DOI: 10.53660/CONJ-1286-X59](https://doi.org/10.53660/CONJ-1286-X59). Acesso em: 04 junho, 2025.

RICHARDI, M. et al. **Uso de rocha carbonática e microrganismos como suprimento alternativo de fósforo**. Nativa, v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: [https://DOI: 10.31413/nativa.v11i1.13863](https://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.13863). Acesso em: 10 abril, 2025.

RIBEIRO, L. D. da S. M. et al. **Inoculação e coinoculação da soja com *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* e microrganismos eficazes**. Revista Mirante (ISSN 1981-4089), v. 13, n. 1, p. 66-80, 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/10153>. Acesso em: 15 julho, 2025.

SANTOS, F. C. dos et al. **Aplicabilidade de microrganismos eficientes (ME) na agricultura: uma revisão bibliográfica**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 1, p. e32311125054, 2022. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/25054/21926>. Acesso em: 6 julho, 2025.

TOSCANI, R. G. da S.; CAMPOS, J. E. G. **Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos altamente intemperizados**. Geociências, v. 36, n. 2, p. 259–274, 2017. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_2_files/36-2-artigo-05.pdf. Acesso em: 20 abril, 2025.

YADAV, S. L. et al. **Impacto de agroquímicos na biota do solo e maneiras de mitigá-lo: uma revisão**. International Journal of Environment and Climate Change, v. 13, n. 5, p. 366–375, 2023. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/download/1779/3535>. Acesso em: 3 abril, 2025.