

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM BIOINSUMOS
NATALIA PEREIRA FONSECA

FUNGOS MICORRÍZICOS NA CULTURA DA SOJA: REVISÃO INTEGRATIVA

CERES – GO
2025

NATALIA PEREIRA FONSECA

FUNGOS MICORRÍZICOS NA CULTURA DA SOJA: REVISÃO INTEGRATIVA

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Bioinsumos do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Bioinsumos, sob orientação do Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

CERES – GO

2025

Ficha Catalográfica

F676f Fonseca, Natália Pereira
FUNGOS MICORRÍZICOS NA CULTURA DA SOJA:
REVISÃO INTEGRATIVA / Natália Pereira Fonseca. Ceres
2025.
22f. il.
Orientador: Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale..
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0330426 - Especialização em Bioinsumos - Ceres (Campus
Ceres).
1. VIGOR. 2. Glycine max. 3. MICORRIZAS. I. Título.

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:

Natália Pereira Fonseca

Matrícula:

2024103304260015

Título do trabalho:

FUNGOS MICORRÍZICOS NA CULTURA DA SOJA: REVISÃO INTEGRATIVA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 01 / 26

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 inclusos 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.

gov.br
Documento assinado digitalmente
NATALIA PEREIRA FONSECA
Data: 12/12/2025 16:28:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

es, Goiás

Local

12 / 12 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

gov.br

Documento assinado digitalmente
LUIS SERGIO RODRIGUES VALE
Data: 13/12/2025 00:23:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 480/2025 - GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 13 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Luís Sérgio Rodrigues Vale (orientador), Pesquisadora e bolsista pós doc Cássia Cristina Rezende Mirza e Pesquisador e bolsista pós doc Moisés Sena Pessoa, para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: **Fungos micorrízicos na cultura da soja: Revisão Integrativa de Natália Pereira Fonseca**, estudante do curso de **Especialização em Bioinsumos** do IF Goiano – Campus Ceres, sob Matrícula nº 2024103304260015. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da 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 Ceres, 26 de setembro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Luís Sérgio Rodrigues Vale

Orientador

(Assinado eletronicamente)

Cássia Cristina Rezende Mirza

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Moisés Sena Pessoa

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Luis Sergio Rodrigues Vale, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/09/2025 14:39:31.
- **Moises Sena Pessoa, 2025110020001 - Discente**, em 26/09/2025 14:41:01.
- **Cássia Cristina Rezende Mirza, 2024210020001 - Discente**, em 26/09/2025 14:41:14.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/09/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 748739

Código de Autenticação: 2e342b1e33



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

Dedico este trabalho ao meu pai que, sob o sol, dirigiu um caminhão para que eu, na sombra, pudesse dirigir a minha vida no caminho dos meus sonhos.

À minha mãe, que nunca mediu esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos e que, em muitos momentos, abdicou dos seus desejos para realizar os meus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo desta jornada.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, incentivo e apoio constante em cada etapa da minha vida.

Ao meu orientador, pela dedicação, paciência, orientação e ensinamentos transmitidos, fundamentais para a construção deste trabalho.

Aos meus amigos, pela compreensão, parceria e palavras de encorajamento que tornaram o percurso mais leve e significativo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioinsumos, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Às instituições de apoio FAPEG, FUNAPE, IF Goiano e CEBIO, pelo suporte indispensável ao desenvolvimento da pesquisa.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. METODOLOGIA.....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
4. CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

RESUMO

FONSECA, N. P. **Fungos micorrízicos na cultura da soja: Revisão Sistemática.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Bioinsumos) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Ceres, 2025.

A aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na cultura da soja tem sido objeto de diversas investigações recentes, especialmente no contexto da busca por alternativas biológicas que promovam maior eficiência na absorção de nutrientes e desempenho agrônômico sustentável. Esta revisão sistemática objetivou sistematizar evidências científicas sobre os efeitos da inoculação micorrízica sobre parâmetros fisiológicos, nutricionais e produtivos da soja. Para isso, foi realizada uma busca em bases indexadas entre 2019 e 2024, aplicando os descritores “soja”, “micorriza arbuscular” e “inoculação”, considerando critérios de inclusão relacionados à metodologia experimental, data de publicação e aderência temática. Ao todo, foram selecionados 10 artigos originais, eliminando-se duplicidades e trabalhos fora do escopo. Os dados foram organizados em quadro de síntese e discutidos segundo categorias temáticas: resposta nutricional e fisiológica das sementes, desempenho produtivo e implicações agrônômicas. A análise indicou que a inoculação com FMAs favorece a absorção de fósforo, melhora a qualidade fisiológica das sementes e promove incrementos significativos no rendimento da cultura, principalmente quando associada a estratégias complementares de manejo. Contudo, as variações observadas entre os estudos revelam a influência de fatores como tipo de solo, composição da microbiota, cultivar utilizada e formulação do inoculante. A revisão aponta ainda lacunas em relação à padronização metodológica e sugere a realização de novos estudos com foco em caracterização microbiológica, protocolos regionais e aplicações em sistemas de cultivo de base ecológica.

Palavras-chave: *Glycine max.* FMA, Bioinoculante, Vigor.

ABSTRACT

FONSECA, N. P. **Mycorrhizal Fungi in Soybean Cultivation: A Systematic Review.** 2025. Final Coursework (Specialization in Bioinputs) – Federal Institute of Goiás, Ceres Campus, Ceres, 2025.

The application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in soybean cultivation has been the focus of several recent investigations, particularly in the search for biological alternatives that enhance nutrient uptake efficiency and promote sustainable agronomic performance. This systematic review aimed to synthesize scientific evidence on the effects of mycorrhizal inoculation on physiological, nutritional, and productive parameters of soybean. A literature search was conducted in indexed databases between 2019 and 2024 using the descriptors “soybean,” “arbuscular mycorrhiza,” and “inoculation,” considering inclusion criteria related to experimental methodology, publication date, and thematic relevance. In total, 10 original articles were selected, excluding duplicates and studies outside the research scope. Data were organized into a synthesis table and discussed according to thematic categories: nutritional and physiological seed response, productive performance, and agronomic implications. The analysis indicated that AMF inoculation enhances phosphorus uptake, improves seed physiological quality, and significantly increases crop yield, especially when combined with complementary management strategies. However, variations among studies reveal the influence of factors such as soil type, microbiota composition, soybean cultivar, and inoculant formulation. The review also highlights gaps related to methodological standardization and suggests further studies focusing on microbiological characterization, regional protocols, and applications in ecologically based cropping systems.

Keywords: *Glycine max*, AMF, Bioinoculant, Vigor

1. INTRODUÇÃO

A produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em sistemas agrícolas intensivos demanda estratégias sustentáveis para mitigar a dependência de insumos químicos e ampliar a eficiência no uso de nutrientes do solo. Nesse contexto, a aplicação de bioinsumos, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), tem sido objeto de investigação por seu papel funcional na simbiose com raízes e na absorção de elementos pouco móveis, como o fósforo. A utilização desses organismos no tratamento de sementes tem proporcionado resultados promissores no desempenho fisiológico e na estabilidade do sistema radicular da soja (AIMI *et al.*, 2024).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pertencem ao filo Glomeromycota e formam associações simbióticas mutualísticas com mais de 80% das espécies vegetais conhecidas, incluindo a soja (Deivasigamani, 2024). Nessa simbiose, o fungo coloniza o córtex radicular, estabelecendo arbúsculos, que são estruturas intracelulares altamente ramificadas responsáveis pela troca de nutrientes, e vesículas, que funcionam como estruturas de reserva e propagação (Lone & Agarwal, 2014).

Taxonomicamente, os FMAs são classificados em ordens como *Glomerales*, *Diversisporales*, *Paraglomerales* e *Archaeosporales*, as quais incluem gêneros de importância agronômica, como *Rhizophagus*, *Glomus* e *Funneliformis* (Tedersoo *et al.*, 2024). Em cultivos de soja, espécies desses gêneros dominam a rizosfera e exibem elevada eficiência simbiótica (Buade *et al.*, 2021).

A associação simbiótica entre fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e raízes expande o micélio extrarradicular, funcionando como extensão do sistema radicular, ampliando a absorção de fósforo e outros nutrientes pouco móveis. Além disso, essa rede micelial contribui para a estabilidade do solo por meio da glomalina, uma glicoproteína que melhora a agregação e aumenta a porosidade, evidenciando o impacto simultâneo da micorrização na nutrição vegetal e na qualidade do solo (Deivasigamani, 2024). Estudos recentes indicam que a colonização micorrízica, quando associada à aplicação de doses estratégicas de fósforo, pode potencializar a absorção desse nutriente em espécies leguminosas cultivadas em solos de baixa disponibilidade fosfatada, como demonstrado na cultura do feijão-caupi sob condições semiáridas (DE ARAÚJO DINIZ *et al.*, 2024).

Na cultura da soja, a resposta ao uso de FMAs é modulada por variáveis como o tipo de solo, a forma de inoculação, a interação com outros insumos e o tratamento prévio de sementes. Dados experimentais revelam que o armazenamento de sementes tratadas com micorrizas não

compromete a germinação, desde que as condições de armazenamento sejam adequadas, indicando a viabilidade do uso comercial desses insumos biológicos em sistemas produtivos de médio a longo prazo (FINKLER *et al.*, 2024).

As evidências experimentais sobre o impacto da micorriza no vigor das sementes de soja tratadas previamente apontam para alterações significativas em parâmetros fisiológicos, como a velocidade de emergência e o índice de crescimento inicial. Pesquisas demonstram que a aplicação de doses crescentes de micorrizas pode atuar de forma positiva no desempenho inicial das plantas, sem afetar negativamente a viabilidade das sementes em armazenamento prolongado (WELTER *et al.*, 2024).

A adoção de FMAs em cultivos comerciais ainda enfrenta limitações relacionadas à padronização das formulações, à compatibilidade com outros insumos aplicados simultaneamente e à variabilidade nos resultados a campo. Investigações conduzidas com diferentes doses de micorriza evidenciam que a resposta das sementes pode variar de forma significativa de acordo com a composição microbiológica e a atividade do fungo utilizado no tratamento (AIMI *et al.*, 2024).

A incorporação de microrganismos simbióticos no manejo da cultura da soja demanda reavaliações nas práticas convencionais de tratamento de sementes, sobretudo no que diz respeito à compatibilidade química entre os agentes biológicos e os insumos convencionais, como nematicidas e fungicidas. Estudos apontam que algumas formulações de nematicidas não inibem a ação das micorrizas, permitindo o uso conjunto em programas integrados de manejo (FINKLER *et al.*, 2024).

Este trabalho teve como objetivo sintetizar e avaliar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os resultados técnicos-científicos recentes acerca da aplicação de fungos micorrízicos arbusculares na cultura da soja, enfatizando a modulação da eficiência na absorção de fósforo, as respostas morfofisiológicas das plantas e às variáveis relacionadas ao desempenho agrônomo em diferentes contextos edafoclimáticos e sistemas de manejo.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido com base em uma revisão sistemática de literatura, método consolidado para levantamento e sistematização de dados secundários, cuja aplicação na área das Ciências Agrárias permite a consolidação crítica de resultados experimentais e observacionais previamente publicados. A revisão, neste contexto, visa à identificação de evidências técnico-científicas sobre o uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na

cultura da soja, com foco em parâmetros como desempenho fisiológico, eficiência nutricional e respostas produtivas sob diferentes manejos.

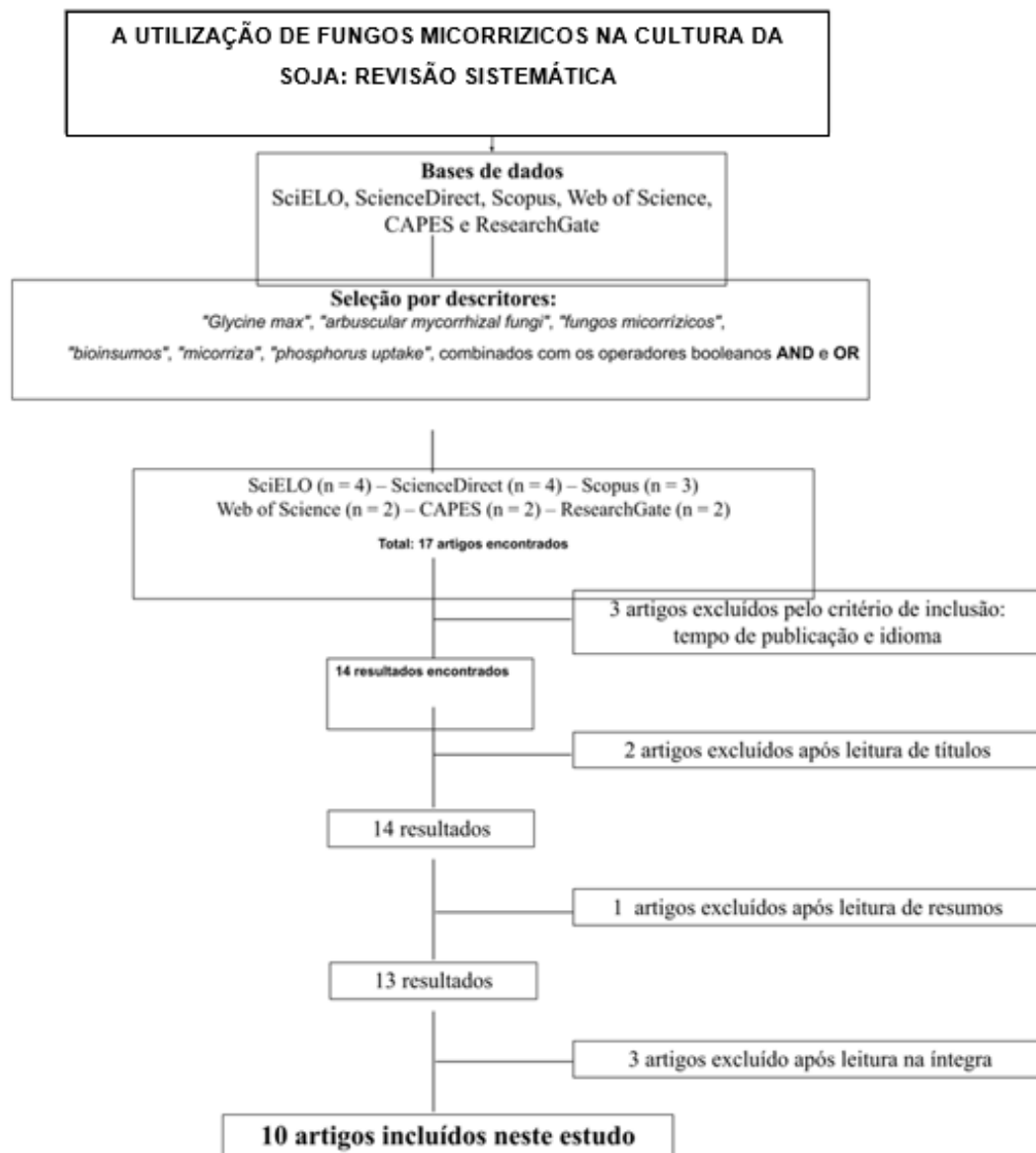
A delimitação do corpus foi estruturada a partir da combinação de descritores científicos padronizados com operadores booleanos, os quais nortearam a busca nas seguintes bases indexadas: SciELO, ScienceDirect, Web of Science, Scopus e Portal de Periódicos da CAPES. Os descritores utilizados foram: *Glycine max*, *fungos micorrízicos arbusculares*, *bioinsumos*, *simbiose radicular*, *micorriza e soja*, *absorção de fósforo* e *tratamento microbiológico de sementes*. Os termos foram utilizados de forma combinada com os operadores AND e OR, respeitando as exigências sintáticas de cada base.

Foram considerados elegíveis os artigos que atendiam aos seguintes critérios: (i) publicação entre 2019 e 2025; (ii) texto completo disponível; (iii) investigação voltada à aplicação ou efeito dos FMAs em sementes ou plantas de soja; (iv) análise quantitativa ou qualitativa com apresentação de resultados técnicos. Foram excluídos estudos duplicados, artigos de revisão narrativa, documentos sem rigor científico ou que abordassem outras culturas sem associação direta com a soja.

A seleção dos estudos foi realizada por meio de leitura exploratória e analítica, com organização dos dados em matriz de extração técnica, contendo os seguintes elementos: autores, ano, objetivo, delineamento metodológico, principais variáveis agronômicas avaliadas, espécies fúngicas utilizadas, parâmetros de avaliação, resultados e conclusões. O processo seguiu um modelo adaptado de protocolos estabelecidos por Gomes *et al.* (2020), que validam o uso da revisão sistemática como estratégia de sistematização científica aplicada às Ciências Agrárias, especialmente em contextos com ampla diversidade experimental.

A análise dos conteúdos selecionados adotou um enfoque descritivo e interpretativo, considerando a consistência metodológica dos estudos, a representatividade dos dados empíricos e a aplicabilidade dos resultados em sistemas de produção de soja. Foram priorizados artigos que apresentaram detalhamento técnico quanto à formulação do inoculante, método de aplicação, composição do substrato e resposta fisiológica e produtiva da cultura. As evidências foram organizadas por categorias temáticas, com vistas à identificação de tendências recorrentes, contradições e lacunas científicas sobre o tema. A apresentação de forma detalhada está na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão integrativa.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2025

Foram inicialmente obtidos 17 artigos científicos a partir da combinação dos descritores “*Glycine max*”, “*arbuscular mycorrhizal fungi*”, “fungos micorrízicos”, “micorriza”, “soja”, “bioinsumos” e “phosphorus uptake”, utilizando os operadores booleanos AND e OR. Após a remoção de 7 duplicatas, restaram 10 artigos únicos, que foram avaliados na íntegra e atenderam plenamente aos critérios de inclusão estabelecidos. Esses 10 estudos compuseram o corpus final da revisão integrativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos selecionados apresentam delineamentos metodológicos diversos, abrangendo experimentações em campo, ensaios em vasos, análises laboratoriais e avaliações de armazenamento de sementes, o que viabilizou uma leitura ampliada sobre os efeitos fisiológicos, nutricionais e agronômicos decorrentes da inoculação micorrízica.

A maioria das publicações analisadas explorou a relação entre a simbiose radicular promovida pelos FMAs e a eficiência de absorção de fósforo em diferentes condições edafoclimáticas. Também foram observados efeitos sobre a velocidade de emergência, vigor inicial e desempenho produtivo das plantas, com destaque para os estudos que associaram o uso de micorrizas ao tratamento microbiológico de sementes e à co-inoculação com outros bioinsumos. Embora os resultados apontem para benefícios consistentes da micorrização, os efeitos variaram conforme o genótipo da cultivar, o modo de inoculação, o tipo de solo e a formulação dos inoculantes utilizados.

Do ponto de vista técnico, os artigos incluídos apresentam parâmetros avaliativos recorrentes, tais como taxa de colonização radicular, conteúdo de fósforo no tecido vegetal, massa seca da parte aérea e rendimento de grãos. Tais indicadores foram utilizados como base para a organização do quadro 1 de síntese, o qual detalha os objetivos, metodologias, variáveis agronômicas analisadas e conclusões principais de cada estudo (Quadro 1).

Quadro 1: Síntese dos estudos incluídos na revisão sistemática (2019–2025)

Autor (Ano)	Objetivo do estudo	Metodologia aplicada	Fungos	Principais resultados
Almeida <i>et al.</i> (2025)	Avaliar a produtividade da soja sob diferentes doses de fósforo e inoculação com FMAs	Ensaio em campo com delineamento fatorial e análise da produção de grãos	<i>Rhizophagus intraradices</i>	Inoculação com FMAs promoveu incremento produtivo significativo em solos com baixa disponibilidade de fósforo
Alovisi <i>et al.</i> (2021)	Analisar o uso do pó de rocha basáltica associado a micorrizas como alternativa ao fertilizante convencional	Estudo em vasos com substrato de baixa fertilidade	Não específica	Interação positiva entre FMAs e pó de rocha na liberação e absorção de nutrientes

Aimi <i>et al.</i> (2024)	Avaliar a qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com diferentes doses de micorriza	Tratamento microbiológico de sementes, seguido de armazenamento e teste de vigor	<i>Glomus mosseae</i> ; <i>Glomus aggregatum</i> ; <i>Glomus intraradices</i> e <i>Glomus etunicatum</i>	Melhora na emergência e vigor inicial, com manutenção da viabilidade em armazenamento prolongado
De Araújo Diniz <i>et al.</i> (2024)	Investigar os efeitos de FMAs e fósforo em leguminosas cultivadas em condições semiáridas	Experimento com feijão-caupi como planta modelo em solos arenosos	<i>Gigaspora margarita</i>	A simbiose favoreceu a absorção de fósforo em condições edafoclimáticas limitantes
Finkler <i>et al.</i> (2024)	Estudar a compatibilidade entre micorrizas e nematicidas no tratamento de sementes de soja	Ensaio com sementes tratadas, armazenadas e submetidas a testes de germinação e vigor	<i>Glomus mosseae</i> ; <i>Glomus aggregatum</i> ; <i>Glomus intraradices</i> e <i>Glomus etunicatum</i>	Inoculação com FMAs manteve a qualidade das sementes mesmo em associação com nematicidas
Gomes <i>et al.</i> (2020)	Discutir o delineamento experimental adequado para pesquisas com FMAs nas Ciências Agrárias.	Revisão metodológica em base empírica.	Não específica	Recomenda o uso do delineamento em blocos casualizados para controle de variáveis.
Pedroso <i>et al.</i> (2022)	Avaliar a co-inoculação de <i>Bacillus subtilis</i> e FMAs na produtividade da soja	Ensaio em estufa e campo com análise de crescimento, teores foliares e produtividade	<i>Rhizophagus intraradices</i>	Co-inoculação aumentou a massa de grãos, nutrientes foliares e teor de óleo das sementes
Santiago (2024)	Comparar diferentes inoculantes quanto à resposta agrônômica da soja em campo	Experimento com cultivares distintas e diferentes inoculantes micorrízicos	Não específica	Efeito variável entre genótipos; necessidade de ajuste técnico da inoculação
Welter <i>et al.</i> (2024)	Avaliar o desempenho inicial e produtivo de sementes de	Ensaio com sementes tratadas e armazenadas sob diferentes condições	<i>Glomus mosseae</i> ; <i>Glomus aggregatum</i> ; <i>Glomus intraradices</i> e	Inoculação promoveu emergência rápida e melhor estabelecimento

	soja tratadas com FMAs		<i>Glomus etunicatum</i>	inicial sem perda de qualidade
--	---------------------------	--	------------------------------	-----------------------------------

Fonte: Arquivo pessoal, 2025

A seguir, procede-se à discussão temática dos achados, estruturada por eixos interpretativos que contemplam a atuação dos FMAs na nutrição mineral da soja, na resposta morfofisiológica da planta sob estresses ambientais, nas interações com outros insumos e na viabilidade operacional do uso desses bioinoculantes em sistemas agrícolas convencionais e agroecológicos. A utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na cultura da soja demonstrou efeitos positivos recorrentes sobre a eficiência de absorção de fósforo. Almeida *et al.* (2025) identificaram incrementos significativos na produtividade sob baixa disponibilidade de P, evidenciando que a simbiose com FMAs amplia o volume de solo explorado pelas raízes e favorece a assimilação de nutrientes pouco móveis. Resultado semelhante foi verificado por De Araújo Diniz *et al.* (2024), mesmo em contexto edafoclimático adverso, sugerindo que os benefícios da inoculação micorrízica extrapolam a cultura da soja e se estendem a leguminosas cultivadas em solos arenosos. No entanto, a amplitude dos resultados observados não foi uniforme.

Embora Pedroso *et al.* (2022) também tenham registrado ganhos nutricionais e aumento no teor de óleo das sementes com a co-inoculação de *Bacillus subtilis*, os efeitos foram dependentes da formulação e do modo de aplicação. Alovisei *et al.* (2021), ao utilizarem pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes, verificaram que a resposta da soja à inoculação foi condicionada à sinergia entre os FMAs e a liberação gradual dos elementos do insumo mineral. Isso evidencia que a eficiência agrônômica da inoculação depende da interação entre simbioses e demais práticas de adubação.

A resposta fisiológica inicial das sementes tratadas com FMAs foi abordada por Aimi *et al.* (2024) e Welter *et al.* (2024), que observaram aumento no índice de crescimento e maior uniformidade na emergência das plântulas. Em ambos os estudos, a inoculação prévia não comprometeu a viabilidade das sementes após armazenamento, o que amplia a viabilidade técnica e logística da aplicação em sistemas comerciais.

Por outro lado, os autores alertam para a necessidade de ajustar as doses e o período de tratamento, uma vez que concentrações excessivas podem interferir no equilíbrio hídrico das sementes. Finkler *et al.* (2024) reforçam essa observação ao demonstrarem que o uso de FMAs associado a nematicidas não comprometeu os parâmetros de germinação, mas requer controle

rigoroso do tempo entre a inoculação e o semeio para evitar perdas de viabilidade dos propágulos. A adoção dos FMAs em cultivares de soja com diferentes características genéticas revelou variações expressivas nos resultados. Santiago (2024) demonstrou que a colonização radicular e o desempenho agrônomo são modulados pelas especificidades do genótipo, com cultivares apresentando respostas divergentes ao mesmo tipo de inoculante. Isso impõe como desafio a formulação de protocolos ajustados por material genético, condição do solo e histórico microbiológico da área.

Além disso, a compatibilidade dos FMAs com insumos convencionais foi testada por Finkler *et al.* (2024), que identificaram viabilidade da aplicação simultânea de micorrizas e produtos químicos, desde que respeitadas condições específicas de armazenamento e aplicação. A articulação entre bioinsumos e práticas convencionais de manejo, se conduzida de forma integrada, pode favorecer a transição de modelos produtivos para sistemas mais sustentáveis. Os resultados mais consistentes desta revisão apontam que a inoculação com FMAs tende a promover aumento na produtividade da soja, melhora na absorção de fósforo, maior vigor inicial e compatibilidade com outros tratamentos fitossanitários.

Os estudos de Almeida *et al.* (2025) e Pedroso *et al.* (2022) são particularmente expressivos nesse sentido, relatando incrementos relevantes na massa de grãos e nos indicadores de desempenho agrônomo. No entanto, a diversidade metodológica, a variação nos tipos de inoculante e o tempo de exposição das sementes dificultam a padronização dos protocolos. Ainda que as evidências sejam promissoras, não a relatos científicos os efeitos observados reproduzíveis em todas as condições edafoclimáticas.

Alovisi *et al.* (2021) e Santiago (2024) destacam que a resposta agrônomo da soja à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares pode variar substancialmente em função da composição da microbiota nativa, do tipo de solo e da interação com fatores abióticos. Além desses aspectos, os efeitos observados não são homogêneos entre as diferentes cultivares avaliadas, uma vez que a resposta agrônomo está diretamente vinculada ao tipo de inoculante utilizado e à formulação aplicada.

Tais variáveis reforçam a necessidade de adequação técnica dos protocolos de inoculação à realidade regional, considerando-se as especificidades genéticas e edafoclimáticas de cada sistema produtivo. Essas constatações limitam a elaboração de recomendações generalizáveis e indicam a necessidade de investigações futuras com foco em protocolos operacionais padronizados, que considerem a análise funcional da interação simbiótica em sistemas de cultivo com alta intensidade tecnológica.

A análise dos estudos permitiu identificar efeitos consistentes da aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) na cultura da soja, sobretudo em relação à absorção de fósforo. Em experimentos conduzidos com solos de baixa disponibilidade do nutriente, Almeida *et al.* (2025) observaram que a inoculação com FMAs resultou em incremento produtivo da soja, mesmo sem o uso intensivo de fertilizantes fosfatados. Resultados semelhantes foram obtidos por De Araújo Diniz *et al.* (2024), que utilizaram o feijão-caupi como leguminosa modelo em ambiente semiárido. Os autores demonstraram que a simbiose com FMAs contribuiu para o aumento da eficiência nutricional, viabilizando o crescimento em condições de solo restritivo.

Pedroso *et al.* (2022), ao avaliarem a co-inoculação com *Bacillus subtilis*, verificaram efeito positivo na massa de grãos e no teor de óleo, com ganhos expressivos em lavouras tratadas biologicamente. Entretanto, os dados indicaram que a magnitude da resposta depende da composição da formulação, do tipo de substrato e do método de aplicação.

A relação entre FMAs e fontes alternativas de nutrientes foi tratada por Alovisei *et al.* (2021), que utilizaram pó de rocha basáltica como insumo mineral. Os autores identificaram liberação gradual de elementos químicos e aumento da absorção pelas raízes micorrizadas, com impacto favorável sobre o teor de fósforo na parte aérea das plantas. No entanto, observaram variações na resposta de acordo com o tipo de solo e o tempo de exposição. Esse ponto se alinha às observações feitas por Santiago (2024), cuja pesquisa indicou que a colonização radicular e o desempenho agrônomo da soja apresentam dependência do genótipo utilizado. Diferentes cultivares responderam de maneira desigual ao mesmo inoculante, o que reforça a necessidade de ajustar a aplicação ao material genético e à realidade produtiva local.

Quanto ao desempenho fisiológico inicial, os estudos de Aimi *et al.* (2024) e Welter *et al.* (2024) indicam que o tratamento de sementes com FMAs favorece o estabelecimento da lavoura. Os autores relataram aumento na velocidade de emergência e no vigor inicial, sem prejuízo à viabilidade das sementes após armazenamento. Os ensaios apontam que a simbiose ocorre de forma funcional mesmo quando as sementes são mantidas por períodos prolongados em condições adequadas. Finkler *et al.* (2024), ao avaliarem a compatibilidade entre micorrizas e nematicidas, constataram que a germinação e o vigor não foram comprometidos quando respeitado o intervalo entre a inoculação e a semeadura. Isso indica que o uso de FMAs pode ser incorporado a sistemas produtivos sem interferir negativamente na logística operacional do tratamento de sementes.

A análise dos indicadores agronômicos utilizados nos estudos revisados evidência que o impacto dos FMAs vai além da absorção de fósforo. Pedroso *et al.* (2022) reportaram aumento da massa de grãos e do conteúdo de óleo, enquanto Santiago (2024) documentou alterações no número de vagens por planta, na altura de colmo e na massa seca da parte aérea. Almeida *et al.* (2025) também verificaram variação positiva no teor de proteína das sementes, indicando que a ação simbiótica dos FMAs interfere na composição qualitativa da produção. Essas variáveis foram utilizadas como parâmetro para a avaliação dos efeitos fisiológicos e produtivos da inoculação, apontando para ganhos que podem ser explorados economicamente no manejo da cultura.

Finkler *et al.* (2024) e Welter *et al.* (2024) discutiram aspectos logísticos do uso de FMAs no tratamento de sementes. Os resultados indicam que a inoculação pode ser realizada em conjunto com outros insumos, desde que sejam observadas as recomendações técnicas para armazenamento e aplicação. A ausência de antagonismo com produtos químicos utilizados na fase inicial do ciclo permite a integração dos FMAs aos protocolos já existentes, o que pode facilitar sua adoção em unidades de produção de médio e grande porte.

Gomes *et al.* (2020), ao analisarem delineamentos aplicados nas ciências agrárias, destacaram que a variabilidade de métodos compromete a padronização dos dados. Alguns estudos avaliados nesta revisão não especificam a concentração fúngica utilizada nem o método de ativação dos propágulos antes do plantio, o que limita a reprodutibilidade dos resultados. Essa limitação metodológica é um fator que precisa ser considerado na interpretação dos efeitos agronômicos atribuídos aos FMAs.

A presença de resultados promissores em diferentes artigos reforça o potencial dos FMAs como alternativa para o manejo biológico da cultura da soja. Estudos como os de Pedroso *et al.* (2022) e Almeida *et al.* (2025) documentam ganhos consistentes em rendimento, qualidade da semente e aproveitamento nutricional, com redução da dependência de fertilizantes sintéticos. No entanto, as variações de resposta observadas nos experimentos de Santiago (2024) e Alovisei *et al.* (2021) mostram que a eficiência da inoculação está condicionada a fatores como composição do solo, cultivar empregada e tempo de exposição. Tais constatações apontam para a necessidade de protocolos regionais, baseados na caracterização microbiológica dos ambientes de cultivo e na compatibilidade entre simbioses e práticas agronômicas locais.

4. CONCLUSÃO

Os estudos analisados demonstram que a inoculação micorrízica contribui para o aumento da absorção de fósforo, para a uniformidade na emergência de plântulas e para a estabilidade da produção em sistemas de cultivo com recursos nutricionais limitados.

No contexto em que o fósforo apresenta baixa mobilidade no solo, os FMAs atuam como agentes simbióticos eficientes na ampliação da área de exploração radicular, otimizando o aproveitamento de nutrientes pelas plantas.

Os resultados obtidos também indicam que a aplicação de FMAs em sementes não compromete o desempenho fisiológico quando armazenadas sob condições técnicas adequadas.

A compatibilidade com agrotóxicos como nematicidas e a possibilidade de associação com outros bioinsumos foram verificadas sem prejuízo à germinação ou ao vigor de sementes.

Embora os artigos revisados apresentem dados que sustentam a viabilidade agrônômica e fisiológica da inoculação micorrízica, ainda se observa fragilidade na padronização de métodos experimentais e insuficiência na caracterização dos parâmetros microbiológicos do solo.

A ausência de consenso quanto às doses, tempos de aplicação e indicadores agrônômicos utilizados dificulta a replicação dos resultados em outras realidades produtivas.

Recomenda-se que novos estudos contemplem a caracterização funcional das cepas utilizadas, o monitoramento da colonização radicular ao longo do ciclo e a avaliação da eficiência micorrízica sob distintos regimes de irrigação e manejos conservacionistas do solo.

Além disso, enfoques voltados à análise do metabolismo secundário das plantas micorrizadas, à dinâmica da microbiota nativa e ao desempenho da soja em consórcios agroecológicos podem ampliar a compreensão dos efeitos indiretos da inoculação.

Tais abordagens são fundamentais para consolidar os FMAs como bioinsumos estratégicos no contexto de sistemas agrícolas sustentáveis e integrados à biotecnologia aplicada à produção vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMI, Daiane et al. **Qualidade fisiológica de sementes da soja com diferentes doses de micorriza no tratamento de sementes perante armazenamento.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, 2024.

ALMEIDA, Carolina V. et al. Avaliação da produtividade da soja sob diferentes doses de fósforo e inoculação com fungos micorrízicos. **Revista Aracê**, v. 9, n. 3, p. 214–229, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/download/3447/4759>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura et al. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e33710615599, 2021.

BUADE, R.; CHOURASIYA, D.; PRAKASH, A.; SHARMA, M. P. Changes in arbuscular mycorrhizal fungal community structure in soybean rhizosphere soil assessed at different growth stages of soybean. **Agricultural Research**, v. 10, n. 1, p. 32–43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S40003-020-00481-4>. Acesso em: 14 out. 2025.

DE ARAÚJO DINIZ, Patricia Fabian et al. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do feijão-caupi na Paraíba. **Revista Principia**, v. 61, n. 3, p. 608–623, 2024.

DEIVASIGAMANI, B. Fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ecologia e Recursos Naturais**, v. 8, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.23880/jenr-16000368>. Acesso em: 14 out. 2025.

FINKLER, Pedro Henrique. **Armazenamento de sementes tratadas com micorriza e nematicida na qualidade de sementes da cultura da soja.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, 2024. Disponível em: <https://dspace.ifrs.edu.br/handle/123456789/1689>. Acesso em: 3 jul. 2025.

GOMES, M. A. et al. Delineamento em blocos casualizados nas pesquisas em ciências agrárias: uma revisão integrativa de literatura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7,

p. 43782–43797, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12466>. Acesso em: 28 abr. 2025.

LONE, R.; AGARWAL, S. Características taxonômicas de fungos micorrízicos arbusculares – Uma revisão. **International Journal of Microbiological Research**, v. 5, n. 3, p. 1–8, 2014. Disponível em: [http://idosi.org/ijmr/ijmr5\(3\)14/8.pdf](http://idosi.org/ijmr/ijmr5(3)14/8.pdf). Acesso em: 14 out. 2025.

PEDROSO, Darlan Evaristo et al. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean inoculated with *Bacillus subtilis* and arbuscular mycorrhizal fungi. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 5, p. 657–664, 2022. Disponível em: https://cropj.com/pedroso3613_16_5_2022_657_664.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

SANTIAGO, Matheus Silva Trajano. **Efeito do uso de diferentes inoculantes sob os componentes de produção da soja**. 2024.

SOUSA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eins/a/9CwZmCm4kStpYp8r3qjJ8YS>. Acesso em: 28 abr. 2025.

TEDERSOO, L.; MAGURNO, F.; ALKAHTANI, S.; MIKRYUKOV, V. Classificação filogenética de fungos micorrízicos arbusculares: novas espécies e táxons de classificação superior em Glomeromycota e Mucoromycota (classe Endogonomycetes). **MycoKeys**, v. 107, p. 273–325, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.107.125549>. Acesso em: 14 out. 2025.

WELTER, Welliton. **Armazenamento de sementes de soja tratadas com diferentes doses de micorriza no desempenho inicial e produtivo**. 2024. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Ibirubá, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifrs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1729>. Acesso em: 1 jul. 2025.