

INOVAÇÕES

EM PESQUISAS

AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

VOLUME VIII

Organizadores:

Alan Mario Zuffo

Jorge González Aguilera

Bruno Rodrigues de Oliveira



Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

**Inovações em pesquisas
agrárias e ambientais
Volume VIII**



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

I58

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais – Volume VIII / Organização de Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025. 85p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-67-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756679>

1. Agronomia. 2. Ensino. 3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario (Organizador). II. Aguilera, Jorge González (Organizador). III. Oliveira, Bruno Rodrigues de (Organizador). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Agronomia



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

A Editora Pantanal tem a honra de apresentar o oitavo volume da coleção “Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais”, uma obra que se consolida como referência na divulgação científica das ciências agrárias, ambientais e áreas correlatas.

Este volume reúne pesquisas originais, revisões e estudos aplicados, elaborados por pesquisadores de diferentes instituições de ensino e pesquisa do Brasil, abordando temáticas atuais e inovadoras. Entre os assuntos contemplados estão: agricultura de precisão e tecnologias digitais para otimizar a produtividade e reduzir impactos ambientais; ferramentas moleculares no diagnóstico de patógenos florestais, contribuindo para a conservação e o manejo sustentável, bioestimulantes em sementes de amendoim e no trigo; nutrição de plantas e manejo de fertilizantes minerais e biológicos, com foco em sustentabilidade e eficiência; bioinsumos e biorreguladores no desenvolvimento de culturas estratégicas, como a cana-de-açúcar.

O objetivo desta obra é difundir conhecimentos científicos atualizados, capazes de subsidiar práticas agrícolas e ambientais mais eficientes, inovadoras e sustentáveis, dialogando com os desafios globais da produção de alimentos, bioenergia e conservação dos recursos naturais.

Acreditamos que este volume será uma importante fonte de consulta para estudantes, pesquisadores, profissionais e formuladores de políticas públicas, fortalecendo a integração entre ciência, tecnologia e sociedade.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Caracterização e eficiência produtiva na produção de soja sem e com agricultura de precisão em uma propriedade no Estado de Mato Grosso do Sul	6
Capítulo 2	15
Importância da Gestão, Tecnologia e da Agricultura de Precisão na eficiência produtiva de uma propriedade rural	15
Capítulo 3	29
Ferramentas moleculares no diagnóstico de fungos patogênicos florestais: avanços, aplicações e perspectivas	29
Capítulo 4	41
Bioestimulante SEED+ e <i>Bacillus aryabhatai</i> no desenvolvimento de <i>Arachis hypogaea</i> L.	41
Capítulo 5	50
<i>Bacillus aryabhatai</i> e o bioestimulante SEED+ promovem desenvolvimento inicial de plântulas de trigo	50
Capítulo 6	62
Métodos de Aplicação de Biorreguladores no Desenvolvimento Inicial da Cana-de-Açúcar	62
Capítulo 7	71
Adubação fosfatada residual e inoculação de <i>Bacillus</i> sp. e <i>Azospirillum</i> sp. no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar	71
Índice Remissivo	84
Sobre os organizadores	85

Caracterização e eficiência produtiva na produção de soja sem e com agricultura de precisão em uma propriedade no estado de Mato Grosso do Sul

Recebido em: 25/08/2025

Aceito em: 17/09/2025

 10.46420/9786585756679cap1

Gleison Antônio Vilalba Machado 

Cristiano Pereira da Silva 

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão tem se consolidado como uma verdadeira revolução no setor agrícola, transformando a maneira como os produtores rurais gerenciam suas lavouras e otimizam a produção. Esse conceito envolve o uso de tecnologias avançadas, como sensores, com o objetivo de coletar dados em tempo real para uma gestão mais eficiente, eficaz e padronizada, informando dados precisos das atividades agrícolas. O principal foco dessas inovações é aumentar a produtividade, reduzir custos operacionais e minimizar o impacto ambiental por meio de práticas agrícolas mais sustentáveis e precisas (Gomes, 2024).

A agricultura de precisão veio para revolucionar os sistemas produtivos, dando mais precisão nos resultados e diminuindo perdas, e consequentemente, diminuir os prejuízos. Sua expansão nos últimos 10 anos, visto que as propriedades agrícolas eram desuniformes, tanto em relação os fatores de produção, tais como: fertilidade, topografia, clima, quanto à produtividade obtida. Dessa forma, cada parte das plantações precisam de um manejo característico para a otimização da rentabilidade do produtor e minimizar os impactos ambientais (Pusch et al., 2019, Borges et al., 2022).

Máquinas agrícolas modernas são um dos pilares da agricultura de precisão. Equipadas com tecnologia de ponta, como sistemas de georreferenciamento, sensores de solo e sistemas automatizados de controle de insumos, elas são capazes de realizar tarefas com uma precisão que era inimaginável há poucas décadas. Uma colheitadeira moderna, por exemplo, pode colher até 40 hectares por dia, um número consideravelmente superior ao alcançado com métodos tradicionais, otimizando o tempo de colheita e garantindo maior eficiência no processo (Lamparelli, 2022; Deere, 2023).

De acordo com dados do Projeto SIGA-MS, executado pela Aprosoja/MS, a área de soja na safra 2024/2025 em Mato Grosso do Sul atingiu 4,524 milhões de hectares, com uma produtividade média ponderada de 51,78 sacas, sacas por hectare, e produção de 14,060 milhões de toneladas. As médias ponderadas de produtividade por região foram as seguintes: 72,01 sc/ha⁻¹ na região norte, que representa aproximadamente 15,8% da área monitorada pelo Projeto; 52,63 sc/ha⁻¹ na região central, que

corresponde a cerca de 22,6% da área acompanhada; e 46,29 sc/ha⁻¹ na região sul, que abrange aproximadamente 61,6% da área de cultivo monitorada pelo projeto (Balta, 2025).

De acordo com Balta (2025) a análise da produtividade da soja na safra 2024/2025 revela importantes insights sobre o desempenho agrícola dos municípios de Mato Grosso do Sul. A produtividade média estadual foi de 51,79 sacas por hectare (sc/ha⁻¹), resultado de uma média ponderada que considera tanto a produtividade individual quanto a área plantada de cada município. Entre esses municípios que se destacaram estão: Costa Rica (78,36 sc/ha⁻¹ em 89.584 ha⁻¹); Chapadão do Sul (77,03 sc/ha⁻¹ em 131.336 ha⁻¹); São Gabriel do Oeste (74,78 sc/ha⁻¹ em 129.606 ha⁻¹); Maracaju (72,06 sc/ha⁻¹ em 353.130 ha⁻¹), e Paraíso das Águas (70,72 sc/ha⁻¹ em 100.003 ha⁻¹).

Esse aumento de produtividade no Estado de Mato Grosso do Sul, está intimamente relacionado com o aumento de produtores que utilizam a agricultura de precisão e suas tecnologias inovadoras, que permite aos agricultores realizem mais em menos tempo, reduzindo a necessidade de mão-de-obra extensiva e possibilitando a colheita no momento exato em que os grãos estão no ponto ideal. Os maquinários de precisão são amplamente utilizados em diversas etapas do processo produtivo agrícola, desempenhando papéis fundamentais desde o preparo do solo até o monitoramento contínuo da lavoura. No plantio, por exemplo, são comuns as semeadoras de precisão, que ajustam automaticamente a profundidade e o espaçamento das sementes conforme as condições do solo, garantindo uma distribuição uniforme e maximizando o potencial de germinação. Entre os equipamentos mais utilizados nesse processo estão as plantadeiras da linha Case IH Early Riser e John Deere ExactEmerge, que proporcionam maior uniformidade no plantio e uma semeadura mais eficiente (Ricardo e Bernardi, 2014; Embrapa, 2020).

Dentre os insumos da agricultura 5.0 o uso de colheitadeiras de precisão tem transformado o processo, permitindo a coleta de dados em tempo real sobre o rendimento da lavoura, além de otimizar o tempo e a eficiência da operação. Colheitadeiras como a Case IH Axial-Flow 250© e a John Deere S700© são exemplos de máquinas que, equipadas com sensores e sistemas de monitoramento, ajustam automaticamente o ritmo de trabalho para maximizar a produtividade. Além dessas etapas principais, o monitoramento das áreas plantadas se tornou um dos principais aliados na agricultura de precisão. A utilização de drones e satélites, equipados com câmeras de alta resolução e sensores multiespectrais, tem facilitado a detecção precoce de pragas, doenças e deficiências nutricionais nas plantas, possibilitando uma intervenção mais rápida e eficiente. Esses equipamentos, como os drones da DJI Agras, permitem que o agricultor tome decisões informadas baseadas em imagens e dados concretos das lavouras (Embrapa, 2020).

Neste sentido, a capacidade de inovar é essencial para a obtenção e manutenção da competitividade em um mercado global. Este fato é particularmente verdade no setor agropecuário, no qual novas tecnologias têm proporcionado aumentos significativos de produtividade com sustentabilidade (Artuzo et al., 2017; Bassoi et al., 2019). Outro aspecto da agricultura de precisão é que ela visa o gerenciamento

detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente nas aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção (Borges et al., 2022).

Assim, a agricultura de precisão é um processo gerencial, que é iniciado a partir de informações exatas, concisas e se conclui com decisões exatas. É uma forma de administrar um campo produtivo metro a metro, considerando-se o fato de que cada área da propriedade possui características distintas. O fundamento principal da AP é o manejo de culturas específicas do local, ou seja, baseia-se em detectar e responder com ações visando a variabilidade espacial e temporal das culturas, melhorando a eficiência do uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola.

Segundo Dias (2025) e Finger et al., (2019) a Agricultura de Precisão pode ser resumida como tecnologias que podem *“fazer a coisa certa, no lugar certo, na hora certa e da maneira certa”*. Segundo os mesmos autores o seu uso não se limita apenas a uma cultura ou tipo de produção agrícola, podendo ser utilizada na pecuária, viticultura, mas também em outros setores, como horticultura, silvicultura, piscicultura e biotecnologia, dentre outros (Finger et al., 2019; Antonini et al., 2018). Amorin et al., (2024) destaca que a agricultura de precisão usa tecnologias avançadas para gerenciar lavouras de maneira detalhada, ajustando as práticas agrícolas conforme a variabilidade espacial e temporal das áreas cultivadas. Com foco em maximizar lucros e reduzir impactos ambientais, essa abordagem faz uso de ferramentas como drones e sensores para monitorar e tratar as culturas de forma otimizada (Castanho; Teixeira, 2017).

Com base no exposto, tem-se que a agricultura de precisão envolve a utilização de tecnologias atualizadas para manejar o solo, insumos bem como as culturas e isso é feito de forma apropriada, considerando-se as variações espaciais e temporais nos quesitos que interferem a produtividade das mesmas. Além disso, o uso da AP está ligado ao uso das tecnologias como: sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas (SIG) e o sistema de posicionamento global (GPS). Assim, a AP é um sistema que envolve o desenvolvimento e o uso de tecnologias de gestão, baseando-se no objetivo principal de maximizar a rentabilidade, proporcionando a administração de cada parte do campo de forma adequada e se é um processo econômico e vantajoso fazer a administração dessa maneira (Borges et al., 2022). Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho está em demonstrar as contribuições da agricultura de precisão na produção da soja e sua eficiência, através do estudo de casos na Fazenda Lagoa, localizada no município de São Gabriel do Oeste/MS.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma propriedade rural (fazenda), localizada no município de Camapuã/MS, Rodovia 163, km 60, durante o período de agosto a dezembro de 2024. Foram realizadas entrevista técnica com os técnicos e gerentes de áreas, com relatos de experiência de campo e na análise dos dados tecnológicos utilizadas na agricultura de precisão através das Serão analisados os maquinários utilizados na propriedade e suas potencialidades no campo, com destaque para a colheitadeira John Deere S550, equipada com o monitor GS3, responsável por fornecer dados em

tempo real sobre produtividade, umidade dos grãos e variabilidade do solo. Os dados serão coletados diretamente no campo durante as operações de colheita, plantio e aplicação de insumos.

O monitor GS3 permitirá a coleta de informações sobre o rendimento da lavoura, localização precisa das operações e as condições de colheita. Além disso, serão observados outros maquinários de precisão, como plantadeiras e pulverizadores equipados com GPS. A coleta de dados envolve: a) monitoramento em tempo real com o GS3, gerando mapas de produtividade e relatórios sobre a aplicação precisa de insumos; b) uso de drones e satélites para monitoramento das lavouras, complementando os dados dos maquinários sobre variabilidade das condições do solo e plantas; c) comparação entre práticas de agricultura de precisão e convencionais, avaliando a redução de desperdícios e o aumento de produtividade. Os dados coletados foram analisados utilizando softwares específicos, como o John Deere Operations Center®, para gerar relatórios e mapas de produtividade. Serão comparados os resultados entre áreas que utilizam a agricultura de precisão e áreas com práticas convencionais, focando em eficiência produtiva e sustentabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A agricultura de precisão é uma prática agrícola moderna que utiliza tecnologias avançadas para monitorar e gerenciar as variáveis ambientais e produtivas em tempo real. Seu principal objetivo é otimizar o uso de insumos agrícolas (como fertilizantes, água e defensivos) e maximizar a produtividade, minimizando os impactos ambientais. Segundo diversos autores, como Castanho e Teixeira (2017), Pusch et al., (2019), Embrapa (2020), Borges et al. (2022), Deere (2023), Amorin (2024), Dias (2025) a agricultura de precisão permite que os produtores agrícolas, ajustem suas práticas de manejo, garantam eficiência na produtividade, precisão nos resultados evitando desperdícios e altos custos na produção.

Como podemos observar nos resultados obtidos, estatisticamente, para a perca de grãos por (g/m^2) nas áreas com e sem agricultura de precisão, não diferiram uma das outras. No entanto, quando convertidos os valores para perca por sacas por (kg/ha^{-1}) houve diferença estatística, demonstrando que os talhões sem agricultura de precisão tiveram um aumento significativo, com valor médio de $2,33\text{kg/ha}^{-1}$, comparado aos talhões com agricultura de precisão que obteve um valor de $1,66\text{kg/ha}^{-1}$. Estes resultados vêm de acordo com as citações de Mantovani et al. (2020) que a partir da análise das planilhas de custo de produção de soja de sete regiões produtoras do Brasil, elaboradas pelo IEG/FNP na safra 2017/2018, observaram que a implementação da agricultura de precisão, baseada em dados da experiência de quase duas décadas nos Estados Unidos, perceberam uma economia média de 5% nos custos de insumos pelo uso do RTK *auto guidance*, em semeadoras, equipamentos de preparo de solo, aplicadores de químicos e colhedoras, e 10% de ganho com adoção/não adoção, em máquinas e equipamentos. Tais percentuais foram aplicados às planilhas de custos de soja e milho tanto convencionais como transgênicos.

Tabela 1. Comparação da perca na área de plantio e por sacas nos talhões sem e com a Agricultura de Precisão na produção soja no município de Camapuã/MS. Fonte: os autores.

Tratamentos	Perca/grãos (g/m ²)	Perca/Sacas (sc/ha ⁻¹)
Talhões sem Agricultura de Precisão	0,014 a	2,33 a
Talhões com Agricultura de Precisão	0,010 a	1,66 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Segundo Yost et al. (2019) a maior lucratividade das atividades pode ocorrer não somente pelo aumento da economia do uso de insumos ou incremento de produtividade, mas também pela melhoria da qualidade dos produtos. Em um experimento de larga escala e longa duração, envolvendo essencialmente a rotação de milho com soja em Missouri, Estados Unidos, em comparação com o sistema convencional, os autores verificaram que a adoção da AP não alterou significativamente a lucratividade e a variação espacial do lucro na cultura do trigo, mas reduziu a variação temporal do lucro, demonstrando ser a AP uma ferramenta de gestão de riscos, por diminuir a volatilidade das respostas financeiras das atividades.

Tabela 2. Comparação da produtividade por sacas nos talhões sem e com a Agricultura de Precisão na produção soja no município de Camapuã/MS. Fonte: os autores.

Tratamentos	Redução total (g/m ²)	Produção total (sc/ha ⁻¹)
Talhões sem Agricultura de Precisão	0,352 b	57,3 b
Talhões com Agricultura de Precisão	0,392 a	62,0 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para Sozzi et al. (2019) e Beznosov et al. (2019) citados por Mantovani et al. (2020) as recentes inovações na agricultura de precisão e a utilização de nanossatélites com o uso e a disponibilização de imagens de alta resolução e baixo custo, assim como a utilização de sensores proximais embarcados em vants (veículos aéreos não tripuláveis, ou drones), sensores automatizados que garanta a precisão nos resultados, nas aplicações de agroquímicos e manejo do solo, bem como, no momento da colheita tem uma lucratividade maior no sistema de agricultura de precisão do que no sistema convencional, principalmente, nas culturas da soja e do milho, sendo que a principal razão para esse resultado seria o aumento de produtividade viabilizada pelas tecnologias de Agricultura de Precisão.

Giacomini (2021) destaca a importância da agricultura de precisão utilizando o índice de vegetação da diferença normatizada (NDVI) que é utilizado para estipular biomassa da cultura, o qual é captado e calculado através do sensoriamento remoto com câmeras multiespectrais capazes de fazer o imageamento do talhão com as bandas do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), dessa forma, garante melhores resultados produtivos, eles reúnem uma série de informações sobre a plantação em apenas um valor numérico, variando de (-1 a 1 μm), que é capaz de reduzir a necessidade de ir a campo coletar dados e facilita a interpretação dos resultados, otimizando tempo e recurso para o produtor

podendo identificar zonas com anormalidades como falha no plantio, doenças, deficiência nutricional e/ou hídrica, entre outras variabilidades, facilitando tomada de decisões e planejamento agrícola.



Figura 1. Talhões sem agricultura de precisão. Camapuã/MS. Fonte: os autores

Nos dias atuais, a agricultura de precisão tem ganhado espaço nos setores, diferentes setores do agronegócio, no entanto, apesar de seus inúmeros benefícios, as técnicas empregadas neste modelo de produção, apresentam algumas desvantagens para os pequenos e médios produtores, como o alto custo inicial, a complexidade tecnológica, a necessidade de mão de obra especializada e, em alguns casos, a dependência de internet e softwares específico. A implementação da agricultura de precisão envolve a aquisição de equipamentos, softwares e a necessidade de treinamento para a equipe, o que pode gerar um alto custo inicial para o produtor rural. No entanto, os investimentos, segundo resultados apresentados e obtidos o investimento é positivo nos diferentes sistemas de produção, principalmente, na produção de grãos.

Vale destacar que a utilização de tecnologias como GPS, sensores e softwares exige conhecimento técnico e habilidades específicas para operação e interpretação dos dados, o que pode dificultar a adoção por produtores menos familiarizados com a tecnologia. Em alguns casos, a agricultura de precisão requer conexão com a internet para o funcionamento de determinados equipamentos e softwares, o que pode ser um problema em áreas rurais com baixa infraestrutura de telecomunicações.

Desde o surgimento da agricultura de precisão no Brasil, sendo chamado como um sistema de produção em que são adotados em vários países as inovações tecnologias avançadas, *Precision Agriculture*, *Precision Farming*, *Site-Specific Crop Management* Manzatto et al. (1999), têm contribuído para atingir altas produtividades no campo, atendendo o objetivo de aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura (Tschiedel; Ferreira 2002). A agricultura de precisão não consiste

simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos, más devem ser consideradas com habilidades tecnológicas que consiste em monitorar e acompanhar mais precisamente toda a produção no campo, desde o plantio das sementes até a sua colheita, com precisão em um alto nível de relevância e resultados produtivos, sendo compreendidas como uma forma de produção mais sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, engloba a ideia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras (Embrapa, 2014; Borges et al., 2022).

A agricultura de precisão aliada aos conhecimentos agronômicos mais apurados como, por exemplo, as interações com os tipos de solos, concentração de matéria orgânica, mapeamento dos períodos de adubação, aplicação de agroquímicos tornam-se muito mais úteis e fáceis as estratégias precisas de produção, pois os dados são tratados localmente, pontualmente de forma mais eficiente e eficaz. Os processos de leitura têm avançado constantemente e, como já citado, há sensores e equipamentos disponíveis no mercado. Entretanto, os agroquímicos, apesar de cuidados e critérios, ainda não se têm aplicado de acordo com a intensidade de infestação local devido aos métodos e processos de detecção localizada de populações ou densidade de pragas não estarem comercialmente estabelecidos. Irrigação à taxa variada tem avançado consideravelmente e sensores de umidade do solo sem fio são encontrados no mercado, mas ainda não é um processo largamente adotado. Sistemas de captação e tratamento de imagens têm atraído muita atenção aos produtores que adotam a agricultura de precisão com contribuições mais significativas em seus manejos produtivos (Amorin, 2024), Dias (2025).



Figura 2. Talhões com Agricultura de precisão. Camapuã/MS. Fonte: os autores.

A fazenda Lagoa plantando 2000 mil hectares com uma produção média de 110 mil sacas de soja ano. As implementações da agricultura de precisão na propriedade têm por finalidade diminuir o desperdício de sementes, tendo um custo de produção em torno de R\$ 10.000 mil reais por linha. Com a utilização de plantadeiras de 26 linhas, o valor total é de R\$ 260 mil, com uma economia em média de R\$

30 mil reais por plantio. Vale ressaltar que os espaçamentos entre linhas de 0,45 centímetros, otimizando o tempo na operação, redução de falhas humanas, garantindo não só a redução de custo como um bom retorno financeiro. Com a agricultura de precisão, alinhada ao sistema de piloto automático, aumenta a produtividade e a eficiência das operações na lavoura, ajudando a melhorar a qualidade e a rentabilidade da safra, com isso, o produtor eleva seu posicionamento de mercado e garante uma maior vantagem competitiva diante dos concorrentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, T.; Alalana, E.M.; Marinho, M.R.; Silva Filho, S.S.; Carvalho, J.W.P.; (2024). Drones como Ferramenta da Agricultura de Precisão na Gestão Agrícola: Uma Análise das Percepções em Campos de Júlio-MT. Anais da Escola Regional de Informática de Mato Grosso (ERI-MT). p.1-5.
- Antonini, R. C.; Bortolotto, R. P.; Zamberlan, J. F.; Dalla Nora, D.; Pasini, M. P. B.; Fiorin, J. E. (2018). Adoção e uso da agricultura de precisão na região das missões do rio grande do sul. HOLOS, v. 4, p. 106–121.
- Artuzo, F. D.; Foguesatto, C. R.; Silva, L. X. da (2017). Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. Revista Tecnologia Sociedade, v. 13, n.29, p.146-161.
- Balta, G. Safra de soja 2024/2025 MS: (2025) produtividade média estadual foi de 51,78 sacas por hectare. Aprosoja. Link: <https://aprosojams.org.br/blog/safra-de-soja-20242025-productividade-m%C3%A9dia-estadual-foi-de-5178-sacas-por-hectare> Acesso: 10/07/2025
- Bassoí, L.H.; Inamasu, R.Y. Bernardi, A.C.C.; Vaz, C.M.P.; Speranza, E.A.; Cruvinel, P.E. (2019). Agricultura de precisão e agricultura digital. In: TECCOGS –Revista Digital de Tecnologias Cognitivas, n.20, p.17-36.
- Beznosov, G.; Semin, A.; Skvortsov, E.; Volkova, S. (2019). The economic essence of the category of precision agriculture. [S. l.]: Atlantis Press.
- Borges, G.L.; Nascimento, A.R.; Morgado, C.M.A. (2022) Agricultura de precisão: ferramenta de gestão na rentabilidade e produtividade de grãos. Scientific Electronic Archives Issue ID:Sci. Elec. Arch. v. 15, n.3, p.71-76.
- Castanho, R., Teixeira, M. E. S. (2017). A evolução da agricultura no mundo: da gênese até os dias atuais. In: Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium, v. 8, n. 1, p. 136-146.
- Deere, John. John Deere S700 Series Combine: Overview & Capabilities. Disponível em: <https://www.deere.com>, acesso: 08/06/2025.
- Dias, A.S. (2025) Análise dos determinantes para adoção da agricultura de precisão pelos produtores de amendoim da região Oeste Paulista. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

- Faculdade de Ciências e Engenharia. Dissertação em Agronegócio e Desenvolvimento. UNESP. 105p.
- Embrapa (2014). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, 102p.
- Embrapa (2020). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agricultura de Precisão no Brasil: Tecnologias e Inovações. Brasília, 180p.
- Finger, R; Swinton, S.M; Benni, N.E; Walter, A. (2019) Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*. p. 313-335.
- Giacomini, L.T. (2021) Implantação da agricultura de precisão em cultivo de soja na Fazenda Giacomini localizada em Xanxer-SC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso. 53p.
- Gomes, J. F. (2024). Agricultura de Precisão: Conceitos e Aplicações na Agricultura Brasileira. São Paulo: Editora XYZ, 178p.
- Lamparelli, R. A. (2022). Máquinas Agrícolas Modernas e a Revolução da Agricultura de Precisão. *Revista de Tecnologia Agrícola*, v.15, n.4, p. 45-59.
- Mantovani, E.C. Miranda, R.A; Landau, E.C; Passos, A.M.A. (2020) A agricultura de precisão no contexto do sistema de produção: lucratividade e sustentabilidade. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Milho e Sorgo - EMBRAPA. Boletim Técnico. 33p.
- Manzatto, C.V.; Bhering, S.B.; Simões, M. (1999). Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, Disponível na Internet. <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html> em 01 Out. 1999.
- Pusch, M.; Machado, T. P.; Amaral, L. R. (2019) Introdução a Agricultura de Precisão. Campinas: Unicamp, 2019.
- Ricardo Y. I; Bernardi. A.D.C. (2014). Agricultura de Precisão. Boletim Técnico Embrapa. p.21-33.
- Sozzi, M.; Kayad, A.; Giora, D.; Sartori, L.; Marinello, F. (2019). Costeffectiveness and performance of optical satellites constellation for precision agriculture. In: STAFFORD, J. V. (Ed.). Precision agriculture 19. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, p. 501-507.
- Tschiedel, M, Ferreira, M.F.. (2002). Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.1, p.159-163.
- Yost, M. A.; Kitchen, N. R.; Sudduth, K. A.; Massey, R. E.; Sadler, E. J.; Drummond, S. T.; Volkmann, M. R. (2019). A long-term precision agriculture system sustains grain profitability. *Precision Agriculture*, v. 20, p. 1177-1198.

Importância da gestão, tecnologia e da agricultura de precisão na eficiência produtiva de uma propriedade rural

Recebido em: 25/08/2025

Aceito em: 17/09/2025

 10.46420/9786585756679cap2

Edlane Idalinda da Silva 

Lucinéia da Silva Jose de Oliveira 

Cristiano Pereira da Silva 

INTRODUÇÃO

A modernização na agricultura, inspirada nos fundamentos da chamada Revolução Verde, iniciada na década de 1960, tem cumprido o papel de prover alimentos a uma população crescente, com a inovação tecnológica se consolidando como um de seus principais pilares (Campagnolla & Macêdo, 2022). Na década de 1990, com a chegada da internet no Brasil, surgiu a agricultura de precisão, que passou a utilizar soluções como GPS e sensores para aprimorar o uso de recursos e melhorar a eficiência no campo.

A partir dos anos 2000, a necessidade de aumento de produtividade impulsionou a inovação no campo, com o desenvolvimento e adoção de máquinas agrícolas automatizadas, Internet das Coisas (IoT), drones, tablets e softwares especializados. Essas tecnologias têm melhorado a eficiência, sustentabilidade e a competitividade do setor. Além disso, tem o potencial de mitigar os impactos das mudanças climáticas, permitindo o monitoramento de variações ambientais e a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Nas últimas décadas, a automatização e a introdução de máquinas agrícolas transformaram o trabalho rural, uma pesquisa do Ipea (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), em parceria com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, revelou que, em menos de 50 anos, a produtividade do agronegócio brasileiro cresceu 400%. Esse avanço ocorreu devido à adoção de novas tecnologias nos processos diários e ao investimento em pesquisas, que proporcionaram dados mais relevantes para dinamizar os processos.

No entanto, temos ainda uma falta de conexão à internet, sendo uma grande barreira tecnológica em diversas áreas rurais, pois o Brasil não possui infraestrutura suficiente para comportar a transmissão massiva de dados e chegar a todos os pontos do campo. Para que a expansão da produção agroindustrial nacional continue a ocorrer principalmente em função de ganhos de produtividade e de redução de custo, como no passado, e poupando cada vez mais recursos escassos, como água e energia, haverá necessidade de que ela passe para a próxima fase, que está sendo chamada de agricultura 4.0. Isso permitirá a incorporação de novas tecnologias de informação e comunicação (TIC) para digitalização e automação

da produção agropecuária, como internet das coisas (IoT), inteligência artificial, analytics e big data, além de dispositivos de sensoriamento e rastreabilidade (BNDES, 2020).

A Embrapa (2020a), aponta que 61,4% dos produtores consideram a falta de conectividade ou a baixa qualidade da internet como o principal obstáculo para o uso de tecnologias digitais em suas atividades agrícolas. Além disso, o alto custo e a falta de conhecimento técnico dificultam a adoção de inovações, especialmente entre pequenos produtores, que também enfrentam dificuldades para obter financiamento acessível.

No Brasil, o agronegócio desempenha um papel essencial na economia, representando 23,2% do PIB em 2024, conforme dados do CEPEA-USP (2025). O setor impulsiona a geração de empregos e é responsável por uma grande parcela das exportações do país, com destaque para commodities como soja, carne e café. Sua posição é fortalecida por inovações tecnológicas, como agricultura de precisão e melhoramento genético, que aumentam a produtividade e mantêm sua competitividade. Essas práticas, junto à infraestrutura portuária eficiente, colocam o Brasil entre os principais produtores agrícolas globais.

A inovação tecnológica é, portanto, um fator crucial para atender a essas demandas de forma eficiente (Embrapa, 2014 b). Dentro desse cenário, o uso de Big Data surge como uma solução inovadora, permitindo o processamento de grandes volumes de dados, que podem ser gerados por sensores, satélites, drones e sistemas de monitoramento em tempo real. A análise desses dados possibilita uma compreensão mais profunda das condições agrícolas e pode orientar ações em tempo real para otimizar o uso de recursos como água, solo, insumos e mão de obra.

Esse avanço tecnológico também se reflete em regiões específicas, como o Mato Grosso do Sul, onde o uso de Big Data e análise de dados na agricultura de precisão vem aprimorando a gestão das atividades agrícolas possibilitando um acompanhamento detalhado no desempenho das culturas, permitindo um controle mais rigoroso sobre a rastreabilidade dos produtos e facilita a integração entre produtores e distribuidores, simplificando processos logísticos e comerciais. A agricultura digital se baseia em conteúdo digital por meio do processamento do grande volume de dados produzido em todas as áreas que contribuem com o desenvolvimento agrícola, como a biotecnologia, mudanças climáticas, geotecnologias, ciências agrárias, informações de mercado, distribuição e logística (Leite et. al., 2024).

A utilização de *Big data* e de ferramentas analíticas pode ser fator de melhoria na produção e ajudar a impulsionar a subsistência rural e desenvolvimento do agronegócio em países em desenvolvimento (Tesfaye et. al., 2016). O uso de inovações tecnológicas no agronegócio proporciona maior eficiência nas tomadas de decisões que contribuem para aumento de produtividade e sustentabilidade, auxiliando a gestão das operações no campo, trazendo dados tangíveis sobre solo, pragas, clima, mercado e outras variáveis importantes, potencializando decisões estratégicas baseadas em informações precisas. Neste sentido, o presente trabalho de conclusão de curso apresentará as vantagens, avanços e importâncias das tecnologias e inovações na produção agropecuária nas diversas áreas das cadeias produtivas do agronegócio.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido durante o ano de 2025 na macrorregião entorno de Campo Grande/MS, a partir de uma abordagem qualitativa e descritiva, baseada no levantamento bibliográfico presentes nos periódicos da Capes e Scielo, em boletins técnicos, livros, artigos científicos, dissertações e teses relacionados o tema proposto.

A parte prática foi realizada através de entrevistas técnicas com 10 produtores agrícolas, que cultivam soja e milho, bem como, pecuaristas da região, que trabalham além da produção de grãos, atuam na recria e engorda. Nas entrevistas, tivemos acesso a relatos e experiência prática de produtores, que contribuíram com informações atreladas aos benefícios, facilidades, vantagens e importâncias das inovações tecnológicas utilizadas na agricultura de precisão, principalmente, Fazenda Fortuna, em exemplo de evolução nos sistemas de produção, localizada no município de Campo Grande no estado de Mato Grosso do Sul.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Histórico e aspectos cronológicos da agricultura de precisão 4.0

A agricultura tem passado por transformações contínuas ao longo do tempo, evoluindo de métodos simples e manuais para técnicas cada vez mais avançadas e tecnológicas. Essa evolução pode ser dividida em diferentes fases, identificadas como Agricultura 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0. No Brasil, a Agricultura 1.0 tem raízes no período pré-colonial, mas a sua expressão econômica mais significativa, com foco comercial, começou no século XVI com a colonização. Até meados do século passado, o sistema produtivo era baseado pelo trabalho manual feito principalmente por membros da própria família e pelo uso de ferramentas simples, com o auxílio de animais para tração.

Segundo Embrapa (2020b), naquela época, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas. Homens e mulheres do campo sofriam com escassez de tecnologia e de informação. O resultado era baixo rendimento por hectare e pouca produção. O crescimento da agricultura exigia que extensas áreas naturais fossem convertidas em lavouras e pastagens. Práticas inadequadas causaram severos impactos ambientais, como erosão e assoreamento. Mas as fazendas não produziam o suficiente para atender à demanda interna naquela época

De acordo com Silva e Cavichioli (2020), a partir da década de 1950, a agricultura passou a ser chamado de Agro 2.0, dando um salto rumo ao avanço tecnológico, quando as máquinas começaram a alcançar o campo. Esse período marcou a transição do modelo tradicional e manual (1.0) para uma agricultura mais mecanizada e produtiva, caracterizado pelo uso de máquinas agrícolas (tratores e colheitadeiras), aplicação de fertilizantes químicos e defensivos, introdução de sementes geneticamente melhoradas e maior especialização da produção. Esses avanços deram por conta da Revolução Verde, um movimento mundial que chegou no Brasil por incentivo de políticas públicas, governamentais e pela

criação de instituições como a Embrapa, que contribuíram de forma significativa a levar novas tecnologias para o campo.

A partir dos anos 1990 a agricultura 3.0 começou a se desenvolver, se consolidando nos anos 2000 no Brasil. Foi o grande passo para o início da agricultura de precisão, com foco na produtividade, eficiência e sustentabilidade, em razão da inclusão da tecnologia digital. Segundo Mapa (2016) e Embrapa (2020 c), a agricultura de precisão é um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente. Desde então, essa fase 3.0 foi impulsionada pelo uso de computadores, sensores, GPS no campo, coleta e análise de dados, automação de máquinas, sistemas de irrigação e maior controle dos insumos e produtividade.

Em meados de 2015, a Agricultura 4.0 ganhou espaço no meio rural brasileiro, impulsionada pelos avanços da tecnologia digital. Essa nova fase do agronegócio é marcada pelo uso de soluções tecnológicas, de ponta, como sensores, drones, inteligência artificial, internet das coisas (IoT) e análise de dados para tornar a produção mais eficiente, sustentável e conectada. O Agro 4.0 busca desenvolver hardware (máquinas) e softwares (programas de computador) que são capazes de realizar tomadas de decisões assertivas, tornando a agricultura mais produtiva e sustentável (Massruhá et. al., 2020).

Comparando-se as diferentes fases da agricultura, observa-se uma mudança significativa no papel da tecnologia e da gestão da produção. Enquanto a fase 1.0 baseava-se na força humana e animal, com baixos índices de produtividade, a fase 2.0 introduziu a mecanização e o uso de insumos industriais. A Agricultura 3.0 trouxe o início da digitalização com dados e GPS, mas foi com a Agricultura 4.0 que se atingiu um patamar de conectividade em tempo real, tomada de decisões automatizadas e integração de tecnologias disruptivas, como inteligência artificial e robótica.

No agronegócio, a coleta, armazenamento e análise de dados tem papel fundamental na previsão, tomada de decisões e assertividade nos processos produtivos. Proporcionando aos produtores informações precisas, isso caracteriza o uso de Big Data e análise de dados na agricultura de precisão. Segundo Assis et al. (2024), Big Data no Agronegócio refere-se ao uso de grandes volumes de dados para aprimorar a gestão e a produtividade no setor agrícola. Ao coletar e analisar dados de várias fontes, como sensores, imagens de satélite, drones e informações climáticas, essa técnica auxilia os produtores a tomar decisões mais precisas, fatores que contribuem para a eficiência dos processos, o aumento da produtividade e uma agricultura mais sustentável.

Apesar de seus inúmeros benefícios, o uso de tecnologias na agricultura ainda enfrenta desafios significativos no Brasil, como a limitação de acesso à internet em regiões rurais e o alto custo de aquisição de equipamentos e softwares. Ainda assim, a adoção dessas tecnologias, apresenta-se como uma grande oportunidade para transformar o agronegócio brasileiro, tornando-o mais competitivo, sustentável e alinhado com as exigências do mercado global.

Contribuições e aspectos produtivos, econômicas, sociais e ambientais para os produtores do Mato Grosso do Sul

No âmbito nacional, o Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de commodities agrícolas, graças aos avanços tecnológicos que sustenta a produtividade, além da vasta extensão de terras agricultáveis, recursos naturais e clima tropical. O setor agropecuário representando 23,2% do PIB brasileiro em 2024 (Cepea-USP, 2025), tornando uma peça-chave nas exportações, com importantes parceiros comerciais como a China, a União Europeia e os Estados Unidos.

No Estado do Mato Grosso do Sul, o agronegócio contribui de forma significativa na economia, com destaque para a produção de soja, milho, carne bovina e celulose. De acordo com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação (Semadesc, 2024), em 2023 o estado registrou o maior crescimento entre as unidades da federação, com uma taxa de 32%. A região se beneficia de tecnologias avançadas, infraestrutura de qualidade e investimentos em florestas plantadas.

A agricultura de precisão baseada em Big Data e ferramentas de análise está cada vez mais inovando a forma de produção no meio rural. Ao incorporar tecnologias avançadas, ela permite melhorar a eficiência dos processos, aumentar a produtividade, reduzir custos e adotar práticas mais sustentáveis. Conforme dados da Famasul (2021), a utilização da agricultura de precisão, o produtor rural, seja pequeno, médio ou grande, consegue ter um aumento de até 29% na produtividade e uma redução média de 23% nos gastos com insumos.

Esses avanços vêm trazendo impactos positivos e relevantes não somente na produção, mas nas esferas econômica, social e ambiental, considerando as características de cada região e atendendo as demandas e exigências do mercado global.

Na prática, o uso de Big Data permite ao produtor rural entender com mais profundidade o comportamento do solo, do clima, das plantas e animais. Informações coletadas em tempo real ajudam a identificar variações dentro de uma mesma área de cultivo, possibilitando intervenções específicas, como a aplicação localizada de fertilizantes ou defensivos (Silva; Cavichioli, 2020). No Estado sul-mato-grossense, onde a produção de grãos como soja e milho é expressiva, essa tecnologia tem ampliado os índices de produtividade ao reduzir perdas e aumentar a eficiência no uso de insumos. Nacionalmente, o avanço do uso de dados tem impulsionado o Brasil a se consolidar como um dos maiores produtores agrícolas do mundo, com ganhos de escala e qualidade.

Do ponto de vista econômico, a análise de dados permite reduzir custos operacionais e maximizar o retorno sobre o investimento. Produtores rurais de Mato Grosso do Sul têm observado redução de desperdícios e melhora na rentabilidade por hectare cultivado (Famasul, 2021). Além disso, a capacidade de prever pragas, doenças ou estresses hídricos com base em dados históricos e climáticos permite decisões antecipadas, reduzindo impactos financeiros. No âmbito socioambiental, a agricultura de precisão baseada em dados promove práticas mais sustentáveis. De acordo com o MAPA (2019), a aplicação precisa de insumos reduz o risco de contaminação do solo e da água, e o monitoramento das

áreas evita o uso desnecessário de recursos naturais. No Estado do Mato Grosso do Sul, onde há forte presença do agronegócio em áreas de cerrado e transição para o Pantanal, isso é particularmente relevante para o equilíbrio entre produção e conservação ambiental. Em escala nacional, o uso racional da terra e dos recursos, guiado por dados, contribui para o cumprimento de metas ambientais e para a valorização da imagem do agro brasileiro no exterior.

A agricultura de precisão, impulsionada por Big Data, tem modernizado o agronegócio brasileiro, especialmente no Mato Grosso do Sul, ao aumentar a produtividade, reduzir custos e promover práticas sustentáveis. Essa transformação fortalece a competitividade do país no mercado global e contribui para o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. A internet tem sido uma aliada essencial na modernização da agricultura, especialmente na agricultura de precisão. Com o uso de tecnologias conectadas em sensores, drones e máquinas automatizadas, os produtores conseguem monitorar e gerenciar suas lavouras com muito mais eficiência. Isso porque essas ferramentas possibilitam coletar dados importantes sobre o solo, o clima e as plantas em tempo real. A agricultura de precisão se baseia essencialmente em um ciclo de três etapas, são elas levantamento de dados, interpretação desses dados e medidas de manejo adotadas com base nos dados levantados (Nogueira, 2024).

As informações coletadas são analisadas por meio de plataformas digitais contando com a inteligência artificial, que auxiliam o produtor na tomada de decisões mais assertiva como é usado na irrigação ou na aplicação de insumos. Cabe ressaltar que, a internet proporciona o mapeamento detalhado das áreas de cultivo, permitindo um uso mais racional dos recursos, o que reduz desperdícios e melhora a produtividade. Nesse processo, a etapa de coleta de dados é a mais importante, pois é ela que alimenta todo o sistema com informações reais do campo. Se os dados forem coletados de forma incorreta ou imprecisa, toda a análise posterior poderá levar a decisões erradas. Por isso, é essencial que os sensores, drones e equipamentos estejam bem calibrados e funcionem corretamente, garantindo que as informações obtidas reflitam de fato a realidade.

A automação agrícola integra dados de sensores, TICs (tecnologias da informação e comunicação) e sistemas de decisão, processados por padrões como ISOBUS (ISO 11783, define padrões para comunicação de dados em máquinas agrícolas e florestais) em arquiteturas como SOA (Arquitetura Orientada a Serviços). O grande volume de dados exige computação em nuvem e processamento paralelo para sistemas de gestão agrícolas robustos (Resende et al., 2014). Para que todas as máquinas e sistemas se comuniquem de forma padronizada e eficiente, utiliza-se o protocolo ISOBUS. Já o SOA funcionam como uma forma inteligente de organizar esses sistemas, permitindo que diferentes funções trabalhem de forma integrada, mesmo que tenham sido desenvolvidas separadamente.

A automação de máquinas agrícolas é uma das maiores inovações na agricultura moderna. Tratores, colheitadeiras e pulverizadores estão cada vez mais equipados com tecnologias que permitem seu funcionamento de forma automatizada e conectada à internet. Isso significa que essas máquinas podem operar com menos intervenção humana, seguindo rotas previamente definidas por GPS e

ajustando automaticamente a aplicação de insumos como fertilizantes ou defensivos, conforme a necessidade de cada área da lavoura.

Essas ferramentas, como o GPS, possibilitam ao produtor identificar com precisão cada parte da área cultivada através de georreferenciamento e o mapeamento das lavouras, são criados mapas detalhados que mostram como está a produtividade do solo em diferentes pontos e quais são suas características, como fertilidade, umidade e textura. Dessa forma, permite fazer um manejo localizado, utilizando quantidade ideal e onde a necessidade de aplicações. Além disso, com a conexão à internet, essas máquinas podem ser monitoradas remotamente por meio de computadores, tablets ou celulares. O produtor ou técnico consegue ver em tempo real onde a máquina está o que está fazendo, e se há algum problema ou falha mecânica. Isso torna o trabalho mais eficiente, reduz custos com combustível, tempo e insumos, além de permitir uma resposta mais rápida a qualquer situação inesperada no campo.

A agricultura de precisão vem passando por grandes transformações graças aos avanços tecnológicos. Entre as principais inovações estão o uso do sensoriamento remoto, as máquinas agrícolas automatizadas e o uso de *Big data* e análise de dados. O sensoriamento remoto é como um super olho no céu que ajuda os agricultores a monitorar tudo o que acontece na lavoura sem precisar estar fisicamente em cada ponto do campo. Essa técnica é usada por meio de drones, imagens de satélite e sensores instalados no solo. Diversas aplicações podem ser abordadas por meio do sensoriamento remoto, destacando-se estimativa da biomassa e produtividade das culturas, monitoramento do estresse hídrico e do vigor das plantas e avaliação do estágio fenológico das culturas (Brandão, 2009).

É através do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) que o sistema de sensoriamento remoto monitora a saúde e a densidade da vegetação. Ele é calculado a partir das imagens capturadas por satélites ou outros sensores, usando a diferença entre a radiação refletida nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED), que são características da vegetação (Tucker, 1979). Já as máquinas agrícolas automatizadas são equipamentos modernos que funcionam com o apoio de tecnologias como GPS, sensores e softwares inteligentes, permitindo que realizem tarefas no campo de forma mais precisa e eficiente, muitas vezes com pouca ou nenhuma intervenção humana. Na agricultura de precisão, essas máquinas têm o papel de ajudar o produtor a aplicar a quantidade certa de insumos, no lugar certo e no momento certo (Gomes, 2024).

Tratores com GPS garantem que as operações no campo sigam trajetos exatos, evitando sobreposição de áreas. Semeadoras de taxa variável ajustam automaticamente a quantidade de sementes conforme as características do solo, e colheitadeiras inteligentes coletam dados sobre a produtividade durante a colheita. Os avanços do Big Data e da análise de dados têm revolucionado a agricultura de precisão, tornando as atividades no campo muito mais eficientes e inteligentes. Hoje, com a ajuda dos avanços tecnológicos, os agricultores conseguem coletar e interpretar uma grande quantidade de informações sobre o solo, o clima, as plantas e o histórico de produção da propriedade (Rocha, 2021).

Esses dados são usados para prever com mais precisão a produtividade da lavoura, identificar sinais de pragas ou doenças logo no início e até ajustar a quantidade de água, fertilizantes e defensivos aplicada em cada parte da plantação. Tudo isso de forma automatizada ou com o apoio de sistemas que analisam os dados em tempo real. Vale destacar que, a inteligência artificial tem sido cada vez mais usada para cruzar essas informações e mostrar ao produtor o que está funcionando bem, o que precisa ser melhorado, mitigar riscos e reduzir custos (Gomes, 2024). Isso permite criar mapas detalhados da fazenda, mostrando áreas mais produtivas ou que precisam de atenção específica.

Apesar de todos esses avanços, a adoção da agricultura de precisão ainda enfrenta diversos desafios que limitam seu pleno aproveitamento, especialmente entre os pequenos e médios produtores. Um dos principais entraves é a infraestrutura de internet no campo. Muitas áreas rurais no Brasil ainda sofrem com baixa cobertura e instabilidade na conexão, o que compromete a transmissão e análise de dados em tempo real, que é essencial para o bom funcionamento das tecnologias digitais. No mesmo sentido, a falta de capacitação técnica pelos fornecedores de máquinas agrícolas automatizadas e mão de obra qualificada para operar os equipamentos e interpretar os dados gerados pelas tecnologias digitais representa um obstáculo significativo, dificultando a adoção mais ampla dessas inovações. Falhas de sinal do GPS também é um problema recorrente, afetando diretamente a precisão de máquinas automatizadas e sistemas de georreferenciamento. Somado a isso, interrupções no fornecimento de energia elétrica, comuns em muitas regiões rurais, prejudicam o funcionamento contínuo dos sistemas tecnológicos e compromete a eficiência das operações no campo.

A agricultura de precisão tem revolucionado o campo com soluções tecnológicas que aumentam a eficiência e a sustentabilidade da produção. No entanto, desafios como a falta de internet, capacitação técnica, falhas no GPS e no fornecimento de energia ainda limitam seu alcance. Superar esses obstáculos é essencial para que mais produtores tenham acesso a esses avanços e possam aproveitar plenamente seus benefícios. Com o uso de dados detalhados sobre cada parte da lavoura, o produtor consegue tomar decisões fundamentadas. Ele pode avaliar o custo de produção por área, identificar quais culturas são mais lucrativas e planejar melhor cada safra. Isso também fortalece suas negociações com cooperativas, compradores ou empresas exportadoras, já que ele passa a ter informações precisas e confiáveis para apresentar.

O aumento da competitividade é outro aspecto vantajoso, conforme Casarotto et. al. (2022), pressionado por questões políticas, ambientais, sociais e financeiras, se estabelecem cadeias agroalimentares regionais de grande importância. Essas cadeias têm expressiva representatividade na economia, com desempenho apoiado na comercialização externa da produção, principalmente commodities e produtos com uso intenso de recursos locais. Além do crescimento constante dos serviços de consultoria digital, plataformas de gestão agrícola e até o comércio de dados gerados nas fazendas. Evidenciando ascensão de novos negócios tecnológicos e inovadores no campo. A logística no agronegócio também tem ganhado um novo patamar com a adoção da agricultura de precisão. Muito

além da produção, a tecnologia contribui para organizar e aprimorar todas as etapas operacionais dentro e fora da fazenda. Por meio de mapas de produtividade e ferramentas de zoneamento, o produtor consegue planejar com mais eficiência a gestão dos processos produtivos que começa com a matéria prima utilizada diariamente até a entrega da produção (Brito; Vernini, 2019).

Conforme Cargo (2018), a redução dos custos logísticos é um dos aspectos relevantes com a tecnologia no campo, representados pelas despesas com transporte, estoque e armazenamento. A integração com a cadeia de suprimentos é outro avanço importante, na troca de dados entre produtores, fornecedores, transportadoras e compradores torna todo o processo mais ágil e transparente, reduzindo perdas e atrasos. Com os avanços tecnológicos, especialmente sistemas de monitoramento, é possível rastrear em tempo real os equipamentos, máquinas e cargas. Isso permite melhorias no planejamento de rotas, agilidade nas entregas e garantia de mais segurança no transporte, o que é fundamental no caso de produtos perecíveis ou sensíveis. O gerenciamento de estoque se torna mais eficiente, proporcionando ao produtor uma visão clara do que entra e sai da propriedade. O uso de tecnologias no campo moderniza a produção agrícola, melhora a qualidade dos produtos, aperfeiçoa o gerenciamento das atividades e reduz custos. Com base em dados, os produtores tomam decisões mais eficientes, aumentam a competitividade e aprimoram a logística e a integração com o mercado.

A integração do Big Data e da análise de dados com as ferramentas de precisão oferece acesso em tempo real às informações da lavoura, permitindo que o agricultor tome decisões rápidas, estratégicas e baseadas em dados confiáveis. Isso reduz riscos e melhora a gestão financeira, a rastreabilidade da produção e a negociação com mercados que exigem dados de origem. Tudo isso torna a produção mais lucrativa e competitiva. A rentabilidade não vem apenas de produzir mais, mas de produzir com inteligência e a internet, junto dos equipamentos de precisão, é o motor dessa transformação no agronegócio.

Enquanto a rentabilidade é favorecida com aplicação das ferramentas digitais, a lucratividade gera ganhos expressivos para o produtor rural. Isso porque, tecnologias ajudam a reduzir custos operacionais com o uso mais eficiente de insumos. Segundo a Embrapa (2020), a maior lucratividade das atividades também pode ser alcançada por meio da melhoria na qualidade dos produtos e do aumento do valor agregado, o que eleva o lucro líquido obtido ao final da safra. A gestão mais precisa e os dados em tempo real tornam possível controlar melhor os gastos, evitar perdas e aproveitar melhor os recursos, resultando em uma produção mais econômica, sustentável e lucrativa. O uso de tecnologias avançadas aliada ao uso de Big Data torna a produção agrícola mais eficiente e inteligente. Isso aumenta a rentabilidade ao reduzir custos e melhorar o uso dos recursos, elevando a lucratividade ao gerar maior retorno com melhor qualidade e gestão.

Localizada no município de Campo Grande (MS), a área do estudo ocupa uma área de 2.700 hectares, com foco na produção de soja e milho. Em 2022, a propriedade deu início a um processo de transformação voltado à adaptação às mudanças climáticas e ao aumento da produtividade. Como parte

dessa estratégia, foram implantados seis pivôs centrais de irrigação, marcando uma nova etapa no desenvolvimento tecnológico da fazenda.



Figura 1. Propriedade Rural do estudo, Campo Grande – MS. Fonte: autores (2025).

Para garantir maior eficiência e melhores retornos financeiros no longo prazo, a propriedade fez investimentos significativos em tecnologias avançadas. A instalação dos pivôs de irrigação automatizados, além disso, a renovação do sistema de GPS, essencial para garantir a precisão das operações, alcançado excelentes resultados em produtividade, sendo fruto de intensos investimentos em pesquisa, tecnologia

e orientação técnica personalizada, adaptada aos diferentes tipos de solo e ambientes produtivos. Com avanços tecnológicos e agricultura de precisão, os resultados demonstram um ganho médio de produtividade de 78,4 para até 94,7 sacas por hectare.



Figura 2. Estação de Energia Solar, Campo Grande – MS. Fonte: autores (2025).

A propriedade do estudo, adotou ao longo dos anos, diversas tecnologias avançadas, como sensores de solo, monitoramento de pragas, e um sistema de navegação GPS com alta precisão. O uso de piloto automático em tratores e plantadeiras também contribuiu para um plantio mais uniforme. Softwares especializados, como o CropX, são utilizados para gerenciar a irrigação, ajustando em tempo real a quantidade de água aplicada conforme a umidade do solo. As informações coletadas são analisadas por meio de mapas, permitindo ajustes nas taxas de adubação e sementes, de acordo com as necessidades específicas de cada área. Desta forma, pode-se perceber que a tecnologia aliada a agricultura de precisão favorece uma maior produtividade, melhora a qualidade e permite mais eficiência e precisão nos resultados.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que este trabalho permitiu compreender, por meio de estudo teórico e vivência prática, como o uso do *Big data* aplicado à Agricultura de Precisão tem transformado a realidade do agronegócio no Brasil, especialmente no Estado do Mato Grosso do Sul. Foi possível observar que essa integração tecnológica tem promovido ganhos expressivos em **eficiência, produtividade e sustentabilidade**, alinhando-se ao objetivo geral da pesquisa. A análise do contexto histórico da agricultura demonstrou a evolução gradual do setor, desde métodos manuais até a era da Agricultura 4.0, marcada pela conectividade em tempo real, sensores inteligentes, automação e análise de dados em larga escala. Com isso, ficou evidente que o *Big data* tem papel fundamental na **tomada de decisões mais assertivas**, uma vez que permite coletar, interpretar e aplicar informações estratégicas em tempo real, otimizando o uso de insumos, monitorando culturas e antecipando riscos. No caso

específico de Mato Grosso do Sul, identificou-se que o Estado apresenta grande potencial produtivo, com destaque para culturas como soja e milho, graças aos avanços e a aplicação da Agricultura de Precisão na região estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, K.C.C et. al. (2024). Tecnologias em agricultura inteligente: Eficiência e sustentabilidade. Research, Society and Development, [S. l.], v. 13, n. 4, p. e7013445072, DOI: 10.33448/rsd-v13i4.45072. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/45072>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- BNDES. Conectividade rural: situação atual e alternativas para superação da principal barreira à agricultura 4.0 no Brasil, Rio de Janeiro, v. 26, n. 52, p. 7-43, 2020.
- Brandão, Z. N., Estimativa da Produtividade e Estado Nutricional da Cultura do Algodão Irrigado via Técnicas de Sensoriamento Remoto, 2009. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/8472>. Acesso em: 03 mai. 2025.
- Brito, P.R.O & Vernini, A.A (2019). Conceitos de Logística Aplicados à Agricultura de Precisão, Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/2037/2684>. Acesso em: 04 mai. 2025.
- Campagnolla, C; Macêdo, M.M.C. (2022).. Revolução Verde: passado e desafios atuais. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 39, n. 1, e26952. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26952. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362562729_Revolucao_Verde_passado_e_desafios_atuais. Acesso em: 26 mar. 2025.
- CARGO, Como reduzir custos de logística no agronegócio?, 2018. Disponível em: https://cargox.com.br/blog/como-reduzir-custos-de-logistica-no-agronegocio/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 04 mai. 2025.
- Casarotto, E.L. et. al. Evidências de utilização de Big Data no agronegócio. Revista Terceira Margem Amazônia, v. 8, n. 19, p. 223-240, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2022v8i19.p223-240>. Acesso em: 04 mai. 2025.
- CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio Brasileiro, 2025. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Diante%20disso%2C%20a%20taxa%20de,%2C5%25%20registrados%20em%202023>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A agricultura de precisão no contexto do sistema de produção: lucratividade e sustentabilidade, 2020. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124732/1/Bol-209.pdf>.

Acesso em: 05 mai. 2025.

EMBRAPA, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Agricultura Digital Pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas, 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/343461176.pdf#page=21>. Acesso em: 29 abr. 2025.

EMBRAPA, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. O futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/995649/1/DocumentoVisaoversaocompleta.pdf>. Acesso em: 31 Mar. 2025.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/54770717/pesquisa-mostra-o-retrato-da-agricultura-digital-brasileira>. Acesso em: 07 mai. 2025.

FAMASUL, Federação Da Agricultura E Pecuária Mato Grosso Do Sul. Com agricultura de precisão, produtores rurais alcançam até 29% de aumento na produtividade, 2021. Disponível em: <https://portal.sistemapamasul.com.br/noticias/com-agricultura-de-precis%C3%A3o-produtores-rurais-alcan%C3%A7am-at%C3%A9-29-de-aumento-na-produtividade>. Acesso em: 03 mai. 2025.

Gomes, J. A. Agroadvance. Guia Completo da Agricultura de Precisão: Da Teoria à Prática, 2024. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-guia-da-agricultura-de-precisao/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 03 mai. 2025.

IPEA, Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada. Produtividade na agricultura brasileira cresceu 400% entre 1975 e 2020. 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/12394-produtividade-na-agricultura-brasileira-cresceu-400-entre-1975-e-2020>. Acesso em: 26 mar. 2025.

Leite, M.C. et. al. Agricultura digital, inovação e aplicações. Brasília, DF: Embrapa, 2024. cap. 2, p. 39-60. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1166995/1/PL-Agricultura-digital-2024.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

MAPA, Ministério Da Agricultura E Pecuária. Agricultura de Precisão, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/cartas-de-servico/desenvolvimento-agropecuario-cooperativismo-e-associativismo-rural/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 29 abr. 2025.

MAPA, Ministério Da Agricultura E Pecuária. Agricultura de precisão é mais rentável e reduz a necessidade do uso de insumos, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/agricultura-de-precisao-e-mais-rentavel-e-diminui-necessidade-do-uso-insumos?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 01 mai. 2025.

- Massruhá, S.M.F.S. et. al.(2020). Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126213>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- Nogueira, L.; Aegro. Agricultura de precisão: equipamentos essenciais e novidades do mercado, 2024. Disponível em: https://blog.aegro.com.br/agricultura-de-precisao-equipamentos/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 03 mai. 2025.
- Resende, A.V. et. al. (2014) Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003273/aplicacoes-da-agricultura-de-precisao-em-sistemas-de-producao-de-graos-no-brasil>. Acesso em: 03 mai. 2025.
- Rocha, E. T. B. Agricultura 4.0 nas lavouras: estudo multicaso para caracterização em propriedades rurais, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/ec5ea2ed-6f3a-407c-b6c2-68fadc3808f7>. Acesso em: 03 mai. 2025.
- SEMADESC, Secretaria De Estado De Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia E Inovação. MS teve o maior crescimento do PIB do agronegócio entre os estados brasileiros, 2024. Disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/ms-teve-o-maior-crescimento-do-pib-do-agronegocio-entre-os-estados-brasileiros/>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- Silva, J.M.P. & Cavichioli, F.A. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, SP, v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. DOI: 10.31510/inf.v17i2.1068. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- Tesfaye, K. et. al.(2016) Targeting drought-tolerant maize varieties in Southern Africa: a geospatial crop modeling approach using big data. International Food and Agribusiness Management Review, Special Issue, v. 19, issue A, 2016. DOI 10.22004/ag.econ.240697. Disponível em: <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/a6ae2515-902e-4038-bde0-b7e23d7cd530/content>. Acesso em: 31 mar. 2025.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425779900130>. Acesso em: 03 mai. 2025.

Ferramentas moleculares no diagnóstico de fungos patogênicos florestais: avanços, aplicações e perspectivas

Recebido em: 02/09/2025

Aceito em: 20/09/2025

 10.46420/9786585756679cap3

Any Caroliny Pinto Rodrigues 

Marcelo Luiz de Laia 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Vitória Alexandra Rodrigues Santos 

Amanda Evely Ferreira Alves 

INTRODUÇÃO

As florestas são essenciais à biodiversidade, ao equilíbrio ecológico e ao desenvolvimento econômico, fornecendo serviços ecossistêmicos e matérias-primas de alto valor (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020; Indústria Brasileira de Árvores [IBÁ], 2024). Entretanto, a sanidade das espécies florestais vem sendo ameaçada por fungos patogênicos que comprometem a sobrevivência de árvores, reduzem a produtividade e desequilibram ecossistemas (Desprez-Loustau et al., 2007a; Wingfield et al., 2015; Ghelardini et al., 2017).

Tradicionalmente, o diagnóstico desses organismos em árvores baseava-se em observações morfológicas, testes de patogenicidade e isolamento em meios de cultura. Embora úteis, tais métodos apresentam limitações relacionadas à baixa sensibilidade, ao tempo elevado para obtenção de resultados e à dificuldade em diferenciar espécies com características morfológicas semelhantes (Schena et al., 2013).

Desde meados dos anos 2000, ferramentas moleculares transformaram a fitopatologia florestal, tornando o diagnóstico mais rápido, sensível e específico. Técnicas como PCR e suas variações, sequenciamento de nova geração (NGS) e abordagens metagenômicas vêm sendo aplicadas com sucesso no estudo e monitoramento de patógenos florestais (Schoch et al., 2012; Nilsson et al., 2019; Lücking et al., 2020; Patel et al., 2022).

Avanços recentes consolidam tendências: revisões apontam a complementaridade entre métodos tradicionais e moleculares, incluindo biossensores e dispositivos portáteis capazes de fornecer resultados rápidos em campo, com impacto direto no manejo da sanidade florestal (Venbrux et al., 2023). Além disso, estudos evidenciam que a associação entre sintomas observados em tecidos vegetais e ferramentas moleculares aumenta a precisão na identificação de múltiplos agentes envolvidos em manchas foliares semelhantes (Azim & Ahmed, 2024).

Do ponto de vista tecnológico, a miniaturização e a microfluídica vêm viabilizando plataformas do tipo *lab-on-chip*, que reduzem custos e aproximam o diagnóstico molecular do ponto de coleta (Zolotareva, 2024). Também se destaca a importância de bancos de dados genômicos e fenotípicos, como o PHI-base, que fornece curadoria contínua sobre interações patógeno-hospedeiro e fortalece a fitopatologia florestal (Urban et al., 2025).

Diante desse contexto, esta revisão tem como objetivo sintetizar os avanços recentes no diagnóstico molecular de fungos patogênicos em espécies florestais, destacando aplicações práticas, limitações metodológicas e perspectivas futuras relacionadas à padronização, portabilidade e integração de dados (Brown, 2025a; Pham, 2024b).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constitui uma pesquisa de natureza básica, com caráter exploratório, fundamentada em uma revisão bibliográfica sobre o tema diagnóstico molecular de fungos patogênicos em espécies florestais, considerando os principais avanços e aplicações das ferramentas moleculares.

Para a sua elaboração, realizou-se levantamento de dados em bases de referência nacional e internacional, incluindo SciELO, Google Acadêmico, Embrapa, Periódicos CAPES, Science Direct, Elsevier e Web of Science, complementado por leituras em livros especializados, visando maior aprofundamento e clareza conceitual.

A busca utilizou palavras-chave em português e inglês, com operadores booleanos, tais como: “fungos patogênicos”, “diagnóstico molecular”, “doenças florestais”, “ferramentas moleculares”, “fitopatologia florestal”, combinados a expressões em inglês (“molecular diagnosis” AND “pathogenic fungi” AND “forest”; “forest diseases” AND “molecular tools” OR “molecular techniques”; “advances in molecular tools” AND “forest diseases”).

Foram considerados artigos publicados entre 2005 e 2025, priorizando estudos originais, revisões sistemáticas e trabalhos aplicados especificamente a espécies arbóreas de interesse florestal. Critérios de exclusão abrangeram publicações sem aplicação direta a fungos patogênicos ou que não apresentaram dados moleculares relevantes.

Após a triagem inicial, os artigos foram avaliados quanto ao conteúdo e relevância, resultando na seleção final das publicações que compuseram esta revisão.

REVISÃO

Fungos patogênicos em espécies florestais

Os fungos patogênicos constituem um dos principais fatores de estresse biótico em ecossistemas florestais, ocasionando perdas econômicas, redução da biodiversidade e comprometimento de serviços ecossistêmicos (Smith et al., 2006; Pereira et al., 2015). Esses microrganismos apresentam ampla

diversidade taxonômica e ecológica, colonizando desde tecidos aéreos (folhas, ramos, flores e frutos) até tecidos subterrâneos (raízes e rizosfera) das árvores hospedeiras.

Entre os grupos de maior relevância estão *Fusarium*, *Phytophthora*, *Botryosphaeriaceae*, *Ceratocystis* e *Colletotrichum*, frequentemente associados a murchas vasculares, necroses, podridões e declínios florestais (Wingfield et al., 2010; Alfenas et al., 2018; Oliveira et al., 2021). Essas doenças apresentam caráter emergente, impulsionado por monocultivos extensivos, globalização do comércio de mudas e sementes e alterações climáticas que favorecem a expansão de patógenos para novas áreas (Desprez-Loustau et al., 2007b; Santini et al., 2013; Jung et al., 2022). O impacto desses fungos não se limita à produção de madeira e celulose, mas compromete diretamente a sustentabilidade de programas de reflorestamento e conservação. Infecções severas podem reduzir a variabilidade genética de populações arbóreas e, associadas à alta adaptabilidade dos patógenos, geram cenários de vulnerabilidade que exigem novas estratégias de diagnóstico e manejo (Wingfield et al., 2015; Souza et al., 2020; Venbrux et al., 2023).

Além disso, estudos recentes destacam que a intensificação de eventos climáticos extremos e a pressão de seleção em monocultivos contribuem para surtos mais frequentes e intensos (Hyde et al., 2024). Esse quadro reforça a necessidade de compreender a diversidade, os mecanismos de infecção e a epidemiologia dos fungos, de modo a subsidiar programas de melhoramento genético, controle biológico e desenvolvimento de ferramentas moleculares cada vez mais precisas para diagnóstico precoce (Slippers & Wingfield, 2007; Crous et al., 2019; Thompson et al., 2024; Pham, 2024a).

***Fusarium* spp.**

Espécies de *Fusarium* estão entre os principais agentes de murchas vasculares e podridões radiculares em espécies florestais. No eucalipto (*Eucalyptus* spp.), *F. oxysporum* e *F. solani* provocam murcha progressiva, necrose radicular e morte de mudas em viveiros, afetando a produção em larga escala (Alfenas et al., 2009; Oliveira et al., 2021). A incidência é favorecida por estresse hídrico e solos compactados (Ferreira et al., 2011). Ensaios baseados em qPCR vêm sendo utilizados para detecção rápida e quantificação em tecidos lenhosos, permitindo medidas de contenção mais eficazes (Burgess et al., 2017; Brown, 2025b).

***Ceratocystis* spp.**

Ceratocystis fimbriata é um dos patógenos emergentes mais agressivos em florestas plantadas, causando escurecimento vascular, exsudação de goma e morte súbita de árvores jovens e adultas de eucalipto e teca (Ferreira et al., 2011; Piveta et al., 2016). Também já foi relatado em seringueira (*Hevea brasiliensis*) e cedro-amazônico (*Cedrela odorata*), representando ameaça à conservação genética de espécies nativas (Borges et al., 2019; Harrington, 2020). Técnicas de qPCR e NGS têm sido aplicadas para

monitorar sua variabilidade genética e auxiliar programas de melhoramento florestal (Telles et al., 2019; Pham, 2024a).

Botryosphaeriaceae (Lasiodiplodia, Neofusicoccum, Botryosphaeria)

Patógenos oportunistas como *Lasiodiplodia theobromae* e *Neofusicoccum* spp. atacam árvores em estresse ambiental, provocando cancos, podridões de caule e seca de ramos em eucalipto, pinus e espécies nativas (Slippers & Wingfield, 2007; Machado et al., 2015). Sua incidência está fortemente associada a déficit hídrico e altas temperaturas, tornando-se mais frequentes em cenários de mudanças climáticas (Mehl et al., 2017; Oliveira et al., 2022; Hyde et al., 2024). Estudos de metagenômica já permitem rastrear populações desses fungos em tecidos assintomáticos, antecipando o manejo (Gross et al., 2020; Zolotareva, 2024).

***Phytophthora* spp.**

Embora sejam oomicetos, espécies de *Phytophthora* têm grande relevância para a fitopatologia florestal. *P. cinnamomi* e *P. palmivora* estão ligadas ao declínio radicular e murchas foliares em florestas tropicais e temperadas (Brasier, 2008; Jung et al., 2018). Em plantações de pinus e eucalipto, *P. cinnamomi* pode levar à mortalidade de grandes áreas (Hardham & Blackman, 2018). No Brasil, surtos já foram relatados em castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e araucária (*Araucaria angustifolia*), com implicações ecológicas relevantes (Telles et al., 2019). Métodos isotérmicos como LAMP vêm sendo empregados com sucesso para sua detecção em campo (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022).

***Colletotrichum* spp.**

O gênero *Colletotrichum* inclui espécies causadoras de antracnose, com manchas necróticas em folhas e morte de brotações jovens. No eucalipto, *C. gloeosporioides* provoca perdas em viveiros e plantios recém-estabelecidos (Alfenas et al., 2009). Em espécies nativas, como o ipê (*Handroanthus* spp.), sua presença compromete programas de restauração florestal (Souza et al., 2020). Novos trabalhos vêm testando diagnósticos multiplex para identificar simultaneamente *Colletotrichum* e outros patógenos em mudas (Venbrux et al., 2023).

Outros patógenos relevantes

Merecem destaque o complexo *Mycosphaerella*, causador de manchas foliares em eucalipto, e *Armillaria* spp., associada a podridão radicular em florestas temperadas e subtropicais (Crous et al., 2019; Coetzee et al., 2022). Avanços recentes em biossensores baseados em DNA vêm ampliando as possibilidades de detecção desses patógenos em estágios iniciais (Gudisa, 2024; Urban et al., 2025).

Diante da diversidade de fungos patogênicos que afetam a sanidade florestal, a Tabela 1 apresenta as principais espécies, as doenças associadas, os hospedeiros arbóreos mais afetados e as ferramentas moleculares aplicadas, oferecendo uma visão integrada dos desafios enfrentados nos diferentes contextos produtivos e de conservação.

Tabela 1. Principais fungos patogênicos de espécies florestais, doenças associadas, hospedeiros afetados e ferramentas moleculares aplicadas. Fonte: os autores.

Gênero/Espécie do Patógeno	Doença Principal	Hospedeiros Florestais Afetados	Referências	Ferramentas moleculares aplicadas
<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. solani</i>	Murcha vascular; podridão radicular	<i>Eucalyptus</i> spp., teca (<i>Tectona grandis</i>), espécies nativas tropicais	Alfenas et al., 2009; Oliveira et al., 2021	PCR espécie-específica; qPCR para quantificação em tecidos lenhosos (Burgess et al., 2017; Brown, 2025b)
Complexo <i>Ceratocystis fimbriata</i>	Murcha de <i>Ceratocystis</i> ; morte súbita	Eucalipto, teca, seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>), cedro-amazônico (<i>Cedrela odorata</i>)	Ferreira et al., 2011; Borges et al., 2019; Harrington, 2020	qPCR para diagnóstico precoce; NGS para diversidade genética (Telles et al., 2019; Pham, 2024a)
<i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Neofusicoccum</i> spp.	Cancro do caule; seca de ramos; podridões	Eucalipto, pinus, espécies nativas tropicais	Slippers; Wingfield, 2007; Machado et al., 2015; Oliveira et al., 2022	qPCR para quantificação em madeira; metagenômica para detecção em áreas assintomáticas (Gross et al., 2020; Zolotareva, 2024)
<i>Phytophthora cinnamomi</i> , <i>P. palmivora</i>	Declínio radicular; murchas foliares	Pinus, eucalipto, castanheira-do-brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>), araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>)	Brasier, 2008; Jung et al., 2018; Telles et al., 2019	LAMP para diagnóstico rápido em campo; qPCR para quantificação (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022)
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnose; manchas foliares	Eucalipto, ipê (<i>Handroanthus</i> spp.), mudas nativas em restauração	Alfenas et al., 2009; Souza et al., 2020	Multiplex PCR para detecção conjunta com outros patógenos (Venbrux et al., 2023)
<i>Mycosphaerella</i> spp. (complexo)	Manchas foliares (redução da fotossíntese)	<i>Eucalyptus</i> spp.	Crous et al., 2019	Biossensores baseados em DNA; análises metagenômicas (Gudisa, 2024; Urban et al., 2025)
<i>Armillaria</i> spp.	Podridão radicular de <i>Armillaria</i>	Pinus, eucalipto, espécies temperadas	Coetzee et al., 2022	PCR convencional; detecção por NGS em solos e raízes (Hyde et al., 2024)

AVANÇOS NAS FERRAMENTAS MOLECULARES DE DIAGNÓSTICO

O diagnóstico de fungos patogênicos em espécies florestais passou, nas últimas duas décadas, por uma revolução metodológica. Inicialmente restritas à PCR convencional, as ferramentas moleculares evoluíram para métodos de alta sensibilidade, como qPCR, multiplex PCR e tecnologias de sequenciamento, que permitem maior precisão na identificação de espécies, diferenciação de linhagens e monitoramento de comunidades microbianas complexas (Wingfield et al., 2015; Nilsson et al., 2019; Hyde et al., 2024).

Otimização da PCR e qPCR

O desenvolvimento de *primers* espécie-específicos e sondas fluorescentes aumentou a confiabilidade dos ensaios de qPCR, reduzindo falsos positivos e permitindo detectar DNA fúngico em quantidades mínimas (Tomlinson et al., 2010; Burgess et al., 2017). Além disso, kits comerciais tornaram o uso acessível a laboratórios de rotina, incluindo viveiros florestais. Estudos recentes reforçam que qPCR permanece sendo a ferramenta de referência para diagnóstico quantitativo, embora ainda limitado por custos e pela necessidade de infraestrutura laboratorial (Brown, 2025b; Pham, 2024a).

Multiplex PCR e diagnóstico simultâneo

O avanço da multiplex PCR permitiu detectar múltiplos patógenos em uma única reação, algo estratégico em viveiros onde a presença simultânea de *Fusarium*, *Colletotrichum* e *Ceratocystis* é frequente (Machado et al., 2015; Oliveira et al., 2021). Revisões recentes demonstram que este método pode ser combinado a biossensores para reduzir custos e acelerar respostas (Venbrux et al., 2023).

Sequenciamento de Nova Geração (NGS)

As tecnologias de NGS revolucionaram o campo ao possibilitar análises de comunidades completas de patógenos em solo, água ou tecido vegetal (Lindahl et al., 2013; Gross et al., 2020). Isso permite não apenas identificar espécies já conhecidas, mas também detectar emergentes ainda não descritos. Experiências na Europa e no Brasil demonstraram a eficiência do NGS em revelar *Phytophthora* e *Lasiodiplodia* em áreas assintomáticas (Jung et al., 2018; Telles et al., 2019). O uso de plataformas metagenômicas aliadas à bioinformática e à inteligência artificial tem ampliado o potencial preditivo desses diagnósticos (Zolotareva, 2024; Urban et al., 2025).

Ferramentas isotérmicas e diagnóstico rápido (LAMP e RPA)

Metodologias isotérmicas, como LAMP e RPA, surgem como alternativas práticas para diagnósticos rápidos em campo. Esses métodos dispensam termocicladores sofisticados, utilizam equipamentos portáteis e produzem resultados em menos de uma hora, sendo ideais para inspeções

fitossanitárias em viveiros e fronteiras agrícolas (Notomi et al., 2015; Schroeder et al., 2022). Aplicações recentes demonstraram a eficiência da LAMP para detecção de *Phytophthora cinnamomi* em mudas de pinus e eucalipto, permitindo decisões imediatas de manejo (Thiessen et al., 2016; Azim & Ahmed, 2024).

APLICAÇÕES DAS FERRAMENTAS MOLECULARES NO DIAGNÓSTICO DE FUNGOS PATOGÊNICOS FLORESTAIS

As ferramentas moleculares não apenas transformaram a detecção de fungos patogênicos, mas se consolidaram como pilares estratégicos da sanidade florestal. Sua aplicação prática vai da triagem de mudas em viveiros ao monitoramento de epidemias em larga escala, contribuindo tanto para a sustentabilidade da produção quanto para a conservação de espécies nativas (Alfenas et al., 2018; Jung et al., 2022).

Monitoramento fitossanitário em viveiros florestais

Viveiros são ambientes críticos devido à densidade de mudas e à umidade que favorece patógenos. Técnicas como PCR e qPCR permitem identificar precocemente *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum gloeosporioides* e *Ceratocystis fimbriata*, evitando a distribuição de mudas infectadas (Ferreira et al., 2011; Oliveira et al., 2021). A integração de multiplex PCR com biossensores tem sido testada para reduzir tempo e custos, aproximando o diagnóstico da rotina operacional (Venbrux et al., 2023).

Diagnóstico precoce em plantações comerciais

Em plantações estabelecidas, ensaios moleculares permitem detectar infecções antes do surgimento de sintomas visíveis. O uso de qPCR tem auxiliado na quantificação de *Lasiodiplodia theobromae* em tecidos lenhosos de eucalipto, contribuindo para o manejo de cancrios (Machado et al., 2015; Schroeder et al., 2019). Métodos isotérmicos como LAMP têm se destacado pela rapidez em campo, permitindo decisões imediatas de isolamento de áreas afetadas (Thiessen et al., 2016; Schroeder et al., 2022).

Programas de melhoramento genético e seleção de genótipos resistentes

Ferramentas moleculares são fundamentais no melhoramento florestal, auxiliando na seleção de genótipos resistentes a patógenos. Ensaios de qPCR e metagenômica têm permitido avaliar a resposta de clones de eucalipto e pinus a *Ceratocystis* e *Phytophthora*, acelerando a seleção de materiais tolerantes (Wingfield et al., 2015; Telles et al., 2019; Pham, 2024a).

Vigilância de patógenos emergentes e exóticos

Com a intensificação do comércio internacional de mudas e sementes, aumenta o risco de introdução de patógenos exóticos. Sequenciamento de nova geração (NGS) tem sido aplicado na triagem de solos e materiais de propagação, permitindo identificar espécies quarentenárias antes da sua disseminação (Santini et al., 2013; Gross et al., 2020). Essa abordagem já foi utilizada para detectar *Phytophthora* spp. em reflorestamentos na Europa e no Brasil (Jung et al., 2018; Thompson et al., 2024).

Conservação de espécies nativas e restauração florestal

O diagnóstico molecular também é estratégico para a conservação de espécies ameaçadas. Foi empregado, por exemplo, na detecção de *Ceratocystis fimbriata* em *Cedrela odorata* e de *Phytophthora* spp. em *Araucaria angustifolia*, permitindo monitorar populações naturais e orientar práticas de manejo (Borges et al., 2019; Telles et al., 2019). A detecção em mudas destinadas à restauração reduz o risco de introdução de patógenos em áreas de reflorestamento (Souza et al., 2020; Urban et al., 2025).

CONCLUSÃO

Os fungos patogênicos permanecem entre as principais ameaças à produtividade e à sustentabilidade dos ecossistemas florestais, afetando tanto plantações comerciais quanto populações nativas. A ampla diversidade de gêneros e espécies, associada ao aumento de surtos epidêmicos e à intensificação dos impactos climáticos, reforça a necessidade de estratégias eficazes de diagnóstico e monitoramento.

Os avanços alcançados entre 2005 e 2025, desde a otimização da PCR e da qPCR até o desenvolvimento de metodologias mais recentes como NGS, LAMP, RPA e análises metagenômicas, consolidaram a transição de métodos essencialmente reativos para abordagens proativas e integradas, capazes de antecipar surtos e reduzir impactos econômicos e ambientais.

A incorporação de análises bioinformáticas, inteligência artificial e plataformas miniaturizadas do tipo *lab-on-chip* amplia o potencial preditivo e a portabilidade dos diagnósticos. Tais avanços aproximam o diagnóstico molecular do manejo florestal de precisão, tornando possível não apenas a detecção rápida, mas também a análise de padrões epidemiológicos em tempo real.

As aplicações práticas demonstradas em viveiros, plantações comerciais e programas de conservação evidenciam que o diagnóstico molecular deixou de ser apenas uma ferramenta laboratorial e tornou-se um elemento central da fitossanidade florestal. Ele garante a triagem de mudas, a identificação precoce de patógenos, o suporte a programas de melhoramento genético e a vigilância de espécies emergentes ou exóticas.

Entretanto, desafios ainda persistem, incluindo custos elevados, necessidade de infraestrutura especializada e carência de padronização internacional dos protocolos. A superação dessas barreiras

depende de investimentos em transferência tecnológica, capacitação de profissionais e integração entre pesquisa, setor produtivo e órgãos de fiscalização fitossanitária. Portanto, a integração contínua de ferramentas moleculares ao setor florestal é essencial para assegurar a resiliência das florestas, a segurança fitossanitária e a sustentabilidade dos programas de produção e de restauração ambiental. O fortalecimento de redes colaborativas, a ampliação do acesso a tecnologias portáteis e a padronização de metodologias constituem caminhos promissores para enfrentar os desafios impostos pela globalização e pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., & Assis, T. F. (2009). Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa: UFV.
- Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., & Assis, T. F. (2018). Doenças em espécies florestais. Viçosa: UFV.
- Azim, M., & Ahmed, F. (2024). Integrating molecular and phenotypic approaches for fungal disease diagnosis in forest species. *Forest Pathology*, 54(2), e12876. <https://doi.org/10.1111/efp.12876>
- Azim, M., & Ahmed, S. (2024). Advances in molecular diagnostics of forest pathogenic fungi. *Forest Pathology*, 54(2), e12345. <https://doi.org/10.1002/fp.12345>
- Borges, R. C., Silva, A. C., & Andrade, G. (2019). First report of *Ceratocystis fimbriata* on *Cedrela odorata* in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 44(1), 92–96. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0259-2>
- Brasier, C. M. (2008). The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology*, 57(5), 792–808. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01886.x>
- Brown, J. (2025a). Standardization and data integration in molecular forest pathology: Challenges and perspectives. *Annual Review of Phytopathology*, 63, 115–138. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020524-091211>
- Brown, R. (2025b). Molecular innovations in forest pathology: From qPCR to portable diagnostics. *Journal of Forestry Research*, 36(1), 45–60. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01789-1>
- Burgess, T. I., White, D., & Hardy, G. E. S. J. (2017). Detecting eucalypt pathogens using qPCR assays. *Forest Pathology*, 47(2), e12340. <https://doi.org/10.1111/efp.12340>
- Coetzee, M. P. A., Wingfield, B. D., Roux, J., & Wingfield, M. J. (2022). *Armillaria root rot: Global impact and new perspectives*. Springer.
- Crous, P. W., Carnegie, A. J., Wingfield, M. J., Sharma, R., & Mughini, G. (2019). Fungal pathogens of forest trees – new discoveries and future challenges. *Fungal Diversity*, 97, 91–109. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00410-3>

- Desprez-Loustau, M. L., Marcais, B., Nageleisen, L. M., Piou, D., & Vannini, A. (2007a). Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science*, 63(6), 597–612. <https://doi.org/10.1051/forest:2006040>
- Desprez-Loustau, M. L., Robin, C., Buee, M., Courtecuisse, R., Garbaye, J., Suffert, F., Sache, I., & Rizzo, D. M. (2007b). The fungal dimension of biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(9), 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.005>
- Ferreira, F. A., Demuner, A. J., & Alfenas, A. C. (2011). Patógenos de eucalipto no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 36(3), 117–128.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global forest resources assessment 2020: Main report. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Ghelardini, L., Santini, A., Pecori, F., Pepori, A. L., Maresi, G., & Capretti, P. (2017). Long-distance dispersal of fungal pathogens is driven by the expansion of air travel and trade. *FEMS Microbiology Letters*, 364(3), fnx050. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx050>
- Gross, A., Holdenrieder, O., Pautasso, M., Queloz, V., & Sieber, T. N. (2020). Molecular detection of fungal pathogens in forest trees. *Forest Pathology*, 50(2), e12568. <https://doi.org/10.1111/efp.12568>
- Hardham, A. R., & Blackman, L. M. (2018). *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular Plant Pathology*, 19(2), 260–285. <https://doi.org/10.1111/mpp.12568>
- Harrington, T. C. (2020). *Ceratocystis diseases* of trees: An updated global perspective. *Fungal Biology Reviews*, 34(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.10.001>
- Hyde, K. D., Jeewon, R., Chen, J., & Bhat, D. J. (2024). Emerging fungal pathogens in the context of climate change. *Mycological Research*, 128(4), 211–229. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2024.01.003>
- Hyde, K. D., Norphanphoun, C., Maharachchikumbura, S. S. N., Bhat, D. J., Jones, E. B. G., Bundhun, D., Chen, Y. J., Bao, D. F., Boonmee, S., Calabon, M. S. et al. (2024). Fungal diseases in a changing climate: Emerging threats to forest health. *Fungal Diversity*, 125(1), 1–28. <https://doi.org/10.1007/s13225-023-00578-7>
- Indústria Brasileira de Árvores (2024). Relatório anual 2024. IBÁ. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/relatorio-anual-2024.pdf>
- Jung, T., Pérez-Sierra, A., Durán, A., Horta Jung, M., Balci, Y., & Scanu, B. (2022). *Phytophthora* in forests and natural ecosystems. *Plant Pathology*, 71(1), 134–169. <https://doi.org/10.1111/ppa.13440>
- Jung, T., Scanu, B., Brasier, C. M., Webber, J. F., Milenković, I., Corcobado, T., Tomšovský, M., Pánek, M., Bakonyi, J., Maia, C., Bačová, A., Raco, M., et al. (2018). A survey in Europe of *Phytophthora* species in natural ecosystems. *Forest Pathology*, 48(1), e12483. <https://doi.org/10.1111/efp.12483>
- Lindahl, B. D., Nilsson, R. H., Tedersoo, L., Abarenkov, K., Carlsen, T., Kjoller, R., Kõljalg, U., Pennanen, T., Rosendahl, S., Stenlid, J., & Kauserud, H. (2013). Fungal community analysis by

- high-throughput sequencing. *Molecular Ecology*, 22(11), 2830–2843. <https://doi.org/10.1111/mec.12241>
- Lücking, R., Aime, M. C., Robbertse, B., Miller, A. N., Ariyawansa, H. A., Aoki, T., & Schoch, C. L. (2020). Unambiguous identification of fungi: Where do we stand and how accurate and precise is fungal DNA barcoding? *IMA Fungus*, 11(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s43008-020-00033-z>
- Machado, A. R., Pereira, O. L., & Silva, M. A. (2015). Fungal diseases in *eucalyptus* plantations in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 40(5), 299–313. <https://doi.org/10.1007/s40858-015-0051-6>
- Mehl, J. W. M., Slippers, B., Roux, J., & Wingfield, M. J. (2017). Lasiodiplodia species associated with tree diseases in South Africa. *Mycological Progress*, 16(3), 455–468. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1275-4>
- Nilsson, R. H., Larsson, K. H., Taylor, A. F. S., Bengtsson-Palme, J., Jeppesen, T. S., Schigel, D., Kennedy, P., Picard, K., Glöckner, F. O., Tedersoo, L., Saar, I., Kõljalg, U., & Abarenkov, K. (2019). The UNITE database for molecular identification of fungi: Handling dark taxa and parallel taxonomic classifications. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D259–D264. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1022>
- Notomi, T., Mori, Y., Tomita, N., & Kanda, H. (2015). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): Principle, features, and future prospects. *Journal of Microbiology*, 53(1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12275-015-4656-9>
- Oliveira, L. S. S., Silva, R. A., & Alfenas, A. C. (2021). Molecular diagnosis of forest pathogens in Brazil. *Forest Pathology*, 51(1), e12665. <https://doi.org/10.1111/efp.12665>
- Oliveira, L. S. S., Silva, R. A., & Alfenas, A. C. (2022). Climate change and tree diseases in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 47(5), 559–573. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00504-3>
- Patel, D., Singh, R., & Kumar, V. (2022). Advances in next-generation sequencing for forest pathogen detection and management. *Forest Microbiology*, 45(3), 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.05.004>
- Pereira, J. C. R., Silva, R. A., & Andrade, G. (2015). Impactos de fungos patogênicos na biodiversidade florestal. *Revista Árvore*, 39(2), 187–197.
- Pham, L. (2024a). Integrating molecular tools in sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 560, 121972. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121972>
- Pham, T. (2024b). Portability of molecular diagnostic tools in forestry: A systematic review. *Forest Science*, 70(1), 56–71. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxad004>
- Piveta, G., Alfenas, A. C., Ferreira, F. A., & Mafia, R. G. (2016). *Ceratocystis wilt* in teak in Brazil. *Forest Pathology*, 46(2), 115–124. <https://doi.org/10.1111/efp.12217>
- Santini, A., Ghelardini, L., De Pace, C., Desprez-Loustau, M. L., Capretti, P., Chandelier, A., & Stenlid, J. (2013). Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197(1), 238–250. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04364.x>

- Schena, L., Nigro, F., Ippolito, A., & Gallitelli, D. (2013). Real-time quantitative PCR: A new technology to detect and study phytopathogenic and antagonistic fungi. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 25–39. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9919-x>
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A., Chen, W., & Fungal Barcoding Consortium. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for fungi. *PNAS*, 109(16), 6241–6246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>
- Slippers, B., & Wingfield, M. J. (2007). *Botryosphaeriaceae* as endophytes and latent pathogens of trees: Evolutionary relationships and impact. *Fungal Diversity*, 25, 109–118.
- Smith, H., Jones, P., & Black, A. (2006). Impacts of pathogenic fungi on forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 232(1), 77–89.
- Souza, A. F., Oliveira, R. J., & Silva, M. A. (2020). Emerging fungal pathogens in Brazilian native species. *Tropical Plant Pathology*, 45(5), 401–415. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00406-8>
- Telles, G. P., Zauza, E. A. V., Alfenas, A. C., & Andrade, G. (2019). Molecular detection of *Ceratocystis fimbriata* in forest species using qPCR. *Forest Pathology*, 49(1), e12497. <https://doi.org/10.1111/efp.12497>
- Thiessen, L. D., Neill, T. M., & Miles, T. D. (2016). Detection of *Phytophthora cinnamomi* in soils using LAMP. *Plant Disease*, 100(12), 2410–2416. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-16-0167-RE>
- Thompson, G. D., Wingfield, M. J., & Slippers, B. (2024). Fungal invasions in plantation forestry under climate change. *Forest Pathology*, 54(3), e12902. <https://doi.org/10.1111/efp.12902>
- Tomlinson, J. A., Boonham, N., Hughes, K. J. D., Griffin, R. L., & Barker, I. (2010). On-site DNA extraction and real-time PCR for detection of *Phytophthora ramorum*. *Phytopathology*, 100(2), 143–149. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-2-0143>
- Urban, M., Cuzick, A., Rutherford, K., Irvine, A., Pedro, H., Pant, R., & Hammond-Kosack, K. (2025). PHI-base: A resource for pathogen–host interactions and comparative functional genomics. *Nucleic Acids Research*, 53(D1), D897–D906. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae876>
- Venbrux, L., Oliveira, M., Costa, F., & Almeida, J. (2023). Portable biosensors for rapid detection of forest pathogens: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 228, 115193. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2023.115193>
- Wingfield, M. J., Brouckhoff, E. G., Wingfield, B. D., & Slippers, B. (2015). Planted forest health: The need for a global strategy. *Science*, 349(6250), 832–836. <https://doi.org/10.1126/science.aac6674>
- Zauza, E. A. V., Alfenas, A. C., & Couto, M. M. F. (2010). Patógenos em essências florestais nativas. Viçosa:UFV.
- Zolotareva, E. (2024). Microfluidic *lab-on-chip* platforms for forestry pathogen diagnostics. *Sensors*, 24(6), 1985. <https://doi.org/10.3390/s24061985>

Bioestimulante SEED+ e *Bacillus aryabhattai* no desenvolvimento de *Arachis hypogaea* L.

Recebido em: 04/09/2025

Aceito em: 17/09/2025

 10.46420/9786585756679cap4

Eduardo Rodrigues Pereira 

Gabriel Inacio Ferreira Silva 

Jorge González Aguilera 

Fábio Steiner 

Cássio de Castro Seron 

INTRODUÇÃO

No Brasil, o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma das principais oleaginosas cultivadas (Souza et al., 2019), especialmente pela sua importância econômica e valor nutricional. A cultura apresenta alto teor de proteínas em seus grãos (22 a 30%), tornando-se uma excelente opção de cultivo para rotação de culturas na região do Cerrado (Souza et al., 2019), motivo pelo qual vem crescendo o interesse no plantio dele (CONAB, 2023).

Nos últimos anos, intensificou-se a busca por novas tecnologias associadas com o uso de insumos biológicos e práticas agrícolas sustentáveis, que melhorem os sistemas agrícolas brasileiros e otimizem o uso dos recursos naturais (Bereta et al., 2022). Neste contexto, o uso de bioestimulantes e o tratamento de sementes (TS) com bactérias, pode ser uma excelente alternativa para melhorar o crescimento inicial das plantas. O TS é uma prática que contribui para o adequado estabelecimento inicial das plantas no campo, e garante a sanidade inicial da planta no seu estabelecimento (Wylot et al., 2019). Os tratamentos de sementes geralmente utilizam fungicidas e inseticidas para controlar pragas e doenças que afetam a maioria das culturas desde o início do seu ciclo, e que estão presentes no solo (Bittencourt et al., 2007).

No amendoim, o TS é utilizado principalmente para proteção de plantas, mas o uso de bioestimulantes é raro. Bioestimulantes são substâncias de crescimento vegetal (auxina, giberelina, citocininas, etc.) que podem atuar interferindo em diversos processos fisiológicos e/ou morfológicos (Wylot et al., 2019). Pereira et al. (2024) mostraram que o crescimento da parte aérea e das raízes de plântulas de milho foi estimulado pelo uso de bioestimulantes, especialmente Seed+® (FMC), Nobrico Star® TS (Nortox) e Stimulate® (Stoller). No TS, o uso de bioestimulantes pode influenciar o crescimento radicular, a porcentagem e a velocidade de germinação (Wylot et al., 2019; Pereira et al., 2024).

As bactérias do gênero *Bacillus* têm se destacado como promotoras de crescimento vegetal devido às suas capacidades de solubilização de fosfato, produção de fitohormônios, fixação de nitrogênio e biocontrole de patógenos (Fernandes et al., 2014; Oliveira et al., 2016; Kielek et al., 2023). Elas têm sido

amplamente empregadas como promotoras de crescimento em diversas culturas agrícolas, incluindo trigo (Vázquez et al., 2018; Bertoncelli et al., 2023), milho (de Paula Barbosa et al., 2018; dos Santos et al., 2025), soja (Korber et al., 2021; dos Santos Schmöller e Lazaretti, 2021), entre outras.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses do bioestimulante SEED+ e do *Bacillus aryabhattai* no tratamento de sementes e seu efeito no desenvolvimento de amendoim em solo arenoso no Cerrado Sul-Mato-Grossense. em condições de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Estação Experimental Agronômica da Universidade do Estado de Mato Grosso do Sul - UEMS, em Cassilândia (MS). Foi utilizados vasos plásticos com capacidade de 8 dm³. Como substrato foi empregado 7,5 dm³ de solo arenoso classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – Nqo (Dos Santos et al., 2013). Após verificar a necessidade de correção do solo, este foi adubado com 20 mg dm⁻³ de N (ureia), 250 mg dm⁻³ de P (superfosfato simples), 100 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 15 mg dm⁻³ de S (gesso agrícola) e 1 mg dm⁻³ Mo (molibdato de amônio).



Figura 1. Etapa inicial do desenvolvimento do experimento. Padronização da quantidade de semente empregada (a), separação de quantidades iguais de sementes a serem tratadas (b) e semeadura do experimento (c). Cassilândia, MS, 2024.

Os vasos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 4×2 , com três repetições. Um primeiro fator foi empregado com o bioestimulante SEED+ (0, 3, 6 e 9 mL kg⁻¹ de sementes) aplicadas no tratamento de sementes (Figura 1B). Um segundo fator foi o uso da bactéria *Bacillus aryabhattai* (sem aplicação e com aplicação), empregando 2,5 mL do produto comercial diluído em 1 L e aplicado por vaso 62 mL por vaso.

O produto empregado para fornecer a bactéria foi Acta Ary® (Acta Bio, Jaboticabal, São Paulo) contendo *B. aryabhattai* isolado CMAA 1363, com uma concentração mínima de 1.0×10^9 unidades formadoras de colônia por mililitro de inoculante (UFC mL⁻¹). O produto comercial SEED+® (FMC) foi empregado, recomendado para aplicação foliar e no solo. Este bioestimulante é um fluido (suspensão homogênea) de densidade de 1,23 g mL⁻¹, e contém magnésio 1%, enxofre 2,9%, ferro 1,8% e zinco 2%. Como cultivar de amendoim foi empregada a BRS 423, de hábito de crescimento rasteiro. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo duas plantas.

Inicialmente foram semeadas cinco sementes de amendoim em cada vaso, quinze dias após a emergência, as plântulas foram desbastadas deixando duas plantas por vaso. O teor de água do solo foi mantido próximo à capacidade de campo com auxílio de uma irrigação com sistema de microaspersão. O controle de pragas e doenças foi realizado segundo a necessidade de aplicação.

Nos primeiros 15 dias após a semeadura, foi avaliada a germinação (G, %), índice de velocidade de germinação (IVG, dias) e o tempo médio de germinação (TMG, dias). A partir dos 15 dias de iniciada a germinação e em intervalos de 15 dias foi avaliada a altura da planta (AP, cm), o diâmetro do caule principal (DC, mm), e o número de folíolos (NF, unidade). A altura das plantas foi mesurada com fita métrica, enquanto o diâmetro do caule principal foi medido com paquímetro digital.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Correlações de Pearson foram realizadas entre todas as variáveis e verificada a relação entre elas. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software estatístico RBio (Bhering, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliou-se diferentes doses do Bioestimulante SEED+ e do *Bacillus aryabhattai* no crescimento inicial do *Arachis hypogaea* L. e os resultados do ANOVA são mostrados na Tabela 1. Observou-se que a interação entre os dois fatores (SEED+ e *B. aryabhattai*) não manifestou diferenças significativas ($p < 0.05$) pelo teste F. Apenas a inoculação com *B. aryabhattai* promoveu diferenças significativas para a variável NF45 (Tabela 1). Oliveira et al. (2016) ao avaliar doses de *Bacillus subtilis* também não observou efeito de doses da bactéria, resultado similar ao obtido no presente trabalho.

Os CV manifestaram valores altos, com valores máximos de 64,89% na AP30 e mínimos de 41,54% na germinação. A variabilidade obtida está muito em função da própria desuniformidade no desenvolvimento da cultura nas condições testadas.

Tabela 1. Resumo do ANOVA de 12 variáveis obtidas ao avaliar o efeito do bioestimulante SEED+ e *Bacillus aryabhattai* no desenvolvimento de amendoim em condições de casa de vegetação ao empregar como substrato um solo arenoso do Cerrado Sul-mato-grossense. Cassilândia, MS, 2024.

FV*	G (%)	IVG (dias)	TMG (dias)	AP30 (cm)	AP45 (cm)	AP60 (cm)
<i>B. aryabhattai</i> (B)	0,05726	0,34725	0,93421	0,30268	0,15349	0,11862
SEED+ (S)	0,49343	0,91672	0,39909	0,74247	0,20605	0,30926
B x S	0,94691	0,73563	0,25155	0,91547	0,86967	0,83057
CV (%)	41,54	45,98	51,70	64,89	56,76	56,98

FV	DC30 (mm)	DC45 (mm)	DC60 (mm)	NF30 (unid.)	NF45 (unid.)	NF60 (unid.)
<i>B. aryabhattai</i> (B)	0,38002	0,12906	0,36708	0,11345	0,04531	0,10681
SEED+ (S)	0,26374	0,21979	0,58460	0,38265	0,39306	0,45492
B x S	0,54913	0,67585	0,89048	0,83324	0,93999	0,89691
CV (%)	60,26	57,61	60,67	57,69	57,39	56,2

*FV: fonte de variação, CV: coeficiente de variação, G: germinação, IVG: índice de velocidade de germinação, TMG: tempo médio de germinação, AP: altura da planta aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, DC: diâmetro do caule aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, e NF: número de folíolos aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento.

Tabela 2. Comparação das medias ao considerar 12 variáveis obtidas ao avaliar o efeito do *Bacillus aryabhattai* no desenvolvimento de amendoim em condições de casa de vegetação ao empregar como substrato um solo arenoso do Cerrado Sul-mato-grossense. Cassilândia, MS, 2024.

<i>B. aryabhattai</i>	G (%)	IVG (dias)	TMG (dias)	AP30 (cm)	AP45 (cm)	AP60 (cm)
Com	53,75 ^{NS}	3,47 ^{NS}	1,44 ^{NS}	8,41 ^{NS}	10,67 ^{NS}	10,81 ^{NS}
Sem	40,00	2,97	1,42	6,59	7,92	7,78

<i>B. aryabhattai</i>	DC30 (mm)	DC45 (mm)	DC60 (mm)	NF30 (unid.)	NF45 (unid.)	NF60 (unid.)
Com	2,14 ^{NS}	2,25 ^{NS}	2,32 ^{NS}	130,00 ^{NS}	158,88 a	171,25 ^{NS}
Sem	1,77	1,63	1,90	92,69	102,81 b	122,38

*FV: fonte de variação, CV: coeficiente de variação, G: germinação, IVG: índice de velocidade de germinação, TMG: tempo médio de germinação, AP: altura da planta aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, DC: diâmetro do caule aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, e NF: número de folíolos aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento. ^{NS} e letras minúsculas na coluna representam ausência de diferença significativa e diferenças significativas ao 5% pelo teste Tukey, respectivamente.

Observou-se que as plantas tratadas com a bactéria apresentaram médias superiores para todas as variáveis avaliadas (Tabela 2). Entretanto, esta superioridade no uso da bactéria não evidenciou diferenças significativas na maioria das variáveis, resultado igual ao obtido por Oliveira et al. (2016). Os

incrementos em cada uma das variáveis foram de 34% para a germinação; 17% para o índice de velocidade de germinação; 1% para o tempo médio de germinação; 28%, 35% e 39% para altura da planta aos 30, 45 e 60 dias, respectivamente; 21%, 38%, 23% para o diâmetro do caule aos 30, 45 e 60 dias, respectivamente; 2% e 40% para o número de folíolos aos 30 e 60 dias, respectivamente (Tabela 2).

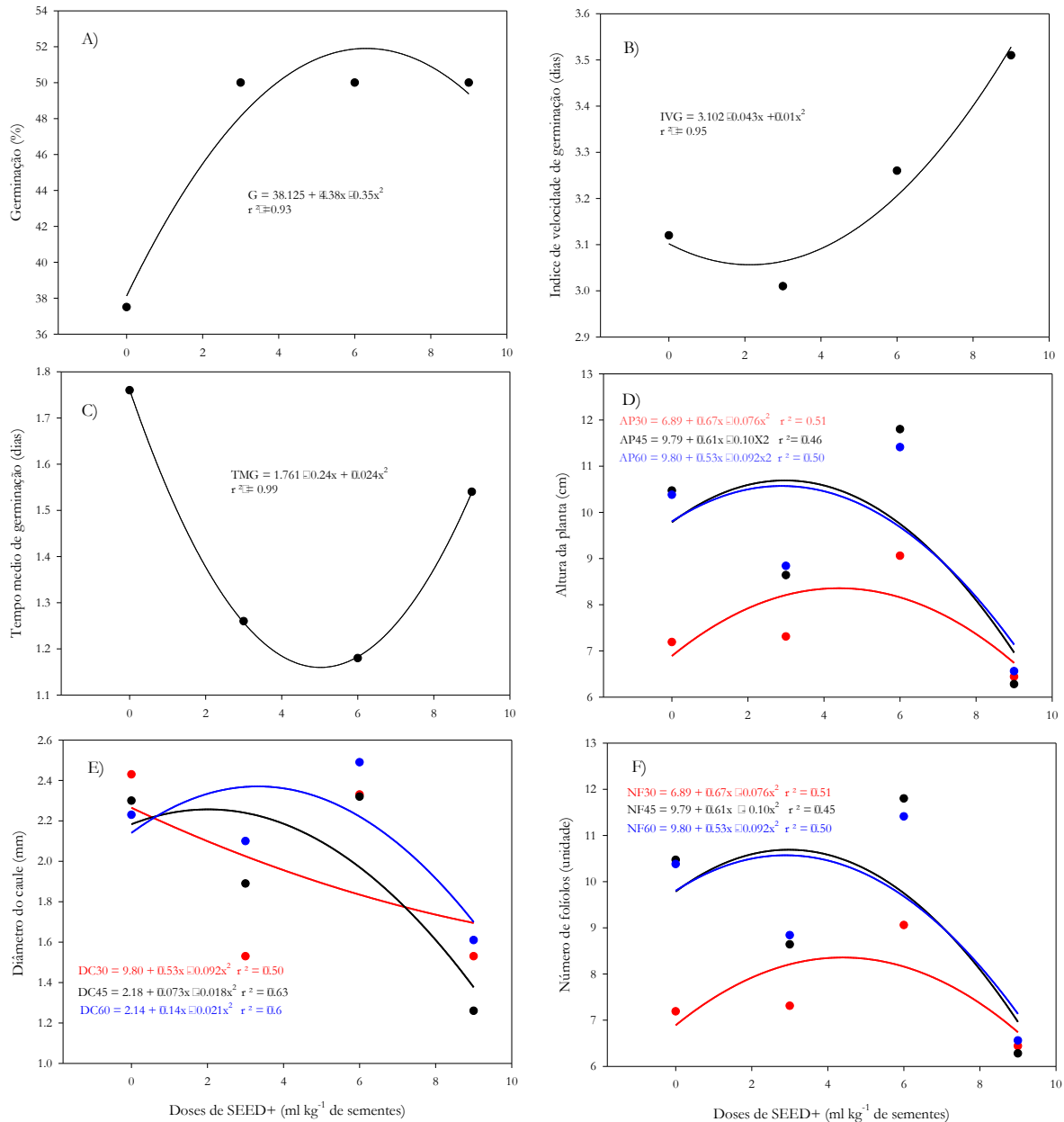


Figura 2. Desempenho de 12 variáveis obtidas ao avaliar o bioestimulante SEED+ no desenvolvimento de amendoim em condições de casa de vegetação num solo arenoso do Cerrado Sul-mato-grossense, Cassilândia, MS, 2024. G: germinação (a), IVG: índice de velocidade de germinação (b), TMG: tempo médio de germinação (c), AP: altura da planta aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento (d), DC: diâmetro do caule aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento (e), e NF: número de folíolos aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento (f).

As bactérias do gênero *Bacillus* têm se destacado como promotoras de crescimento vegetal devido às suas capacidades de solubilização de fosfato, produção de fitohormônios, fixação de nitrogênio e atuarem como biocontrole de patógenos (Fernandes et al., 2014; Oliveira et al., 2016; Kielek et al., 2023).

Quando considerado o bioestimulante SEED+ o ANOVA mostrou que não existem diferenças significativas entre as cinco doses aplicadas na cultura do amendoim (Figura 2). O comportamento das variáveis G, IVG, TMG, AP, DC e NF evidenciou um comportamento de equações de segundo grau com R^2 que variaram de 0.99 (TMG, Figura 1C) a 0.55 (NF45, Figura 2F). Independente de não ser observada diferenças significativas entre os tratamentos observou-se que a doses de 6 mL kg⁻¹ de sementes sempre que aplicada gerou os maiores valores para IVG, AP30, AP45, AP60, DC45, DC60, NF30, NF45 e NF60 (Figura 2).

Por outro lado, a dose mais elevada (9 mL kg⁻¹) reduziu significativamente o desenvolvimento das plantas, com menor altura (Figura 2D), menor diâmetro do caule (Figura 2E), e menor emissão de folíolos (Figura 2F). Estes achados discordam do descrito por Aguilera et al. (2024), que ao empregar essa mesma dose de 9 mL kg⁻¹ teve os melhores resultados com ela. O uso de Bioestimulantes como promotor de substâncias de crescimento vegetal (auxina, giberelina, citocininas etc.) que atuam interferindo em diversos processos fisiológicos e/ou morfológicos (Wylot et al., 2019), o que pode ser observado nos resultados obtidos.

A Figura 3 mostra as correlações de Pearson obtidas entre as 12 variáveis medidas no experimento. Observa-se que na maioria das variáveis, com a exceção de IVG e TMG com apenas uma correlação positiva entre elas duas ($r = 0,54$, $p < 0,01$), as outras manifestaram correlações significativas (Figura 3). A germinação manifestou correlações significativas, entretanto, de magnitude moderada (GxIVG, $r = 0,60$, $p < 0,001$) a fracas (GxNF45, $r = 0,38$, $p < 0,05$). Já quando consideradas as variáveis AP, DC e NF para todas as combinações foram obtidas correlações altamente significativas ($p < 0,001$) e de elevada magnitude com valores acima de 0,75, evidenciando a relação direta que estas três variáveis têm do ponto de vista fisiológico (Taiz et al., 2021).

Os resultados confirmam o potencial do *B. aryabhattai* como bactéria promotora de crescimento vegetal, corroborando estudos que destacam sua capacidade de estimular os processos fisiológicos e morfológicos em diferentes culturas como milho (Deng et al., 2022; Steiner et al., 2024; Deng et al., 2024), e fumo (Xu et al., 2022), entre outras culturas. O aumento promovido em todas as variáveis avaliadas sugere maior vigor vegetativo, fundamental para o estabelecimento inicial da cultura em solos arenosos e de baixa fertilidade. Quanto ao SEED+, o desempenho positivo em doses intermediárias evidência que níveis adequados, favorecem a germinação e o crescimento da planta, mas em concentrações elevadas podem causar efeito inibitório (doses acima de 6 mL kg⁻¹, possivelmente devido ao desequilíbrio hormonal ou fito-toxidez. A ausência de interação significativa pode indicar que o efeito da bactéria e do bioestimulante ocorreu de forma independente, não havendo sinergia clara entre os dois tratamentos. Sendo isso reforçam a importância do ajuste de doses de bioestimulante e da seleção de microrganismos eficientes para otimizar o desenvolvimento inicial do amendoim.

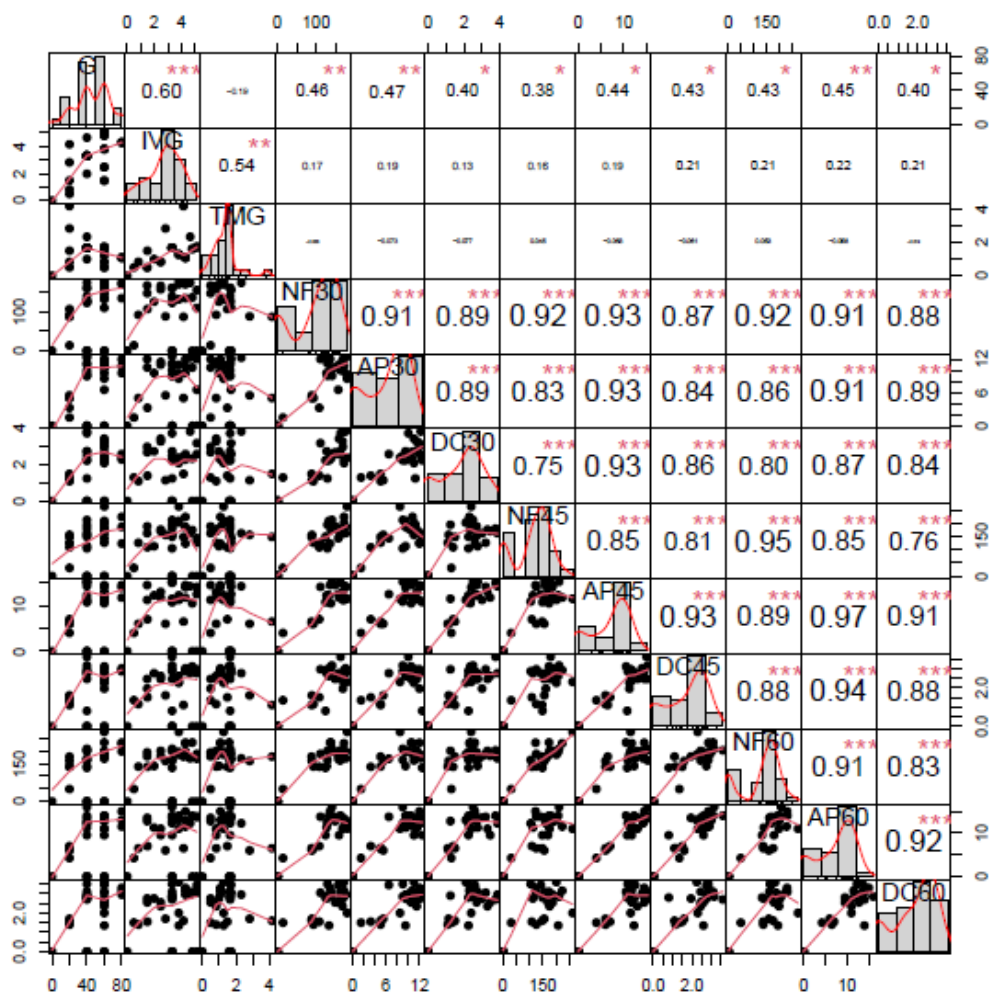


Figura 3. Correlações de Pearson estimadas a partir de 12 variáveis obtidas ao avaliar o bioestimulante SEED+ e a bactéria *Bacillus aryabhattai* no desenvolvimento de amendoim em condições de casa de vegetação num solo arenoso do Cerrado Sul-mato-grossense, Cassilândia, MS, 2024. G: germinação, IVG: índice de velocidade de germinação, TMG: tempo médio de germinação, AP: altura da planta aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, DC: diâmetro do caule aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento, e NF: número de folíolos aos 30, 45 e 60 dias de instalado o experimento. *, ** e *** representam diferenças significativas ao 0.05, 0.01 e 0.001 de probabilidade pelo teste T.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que apenas a inoculação com *Bacillus aryabhattai* contribuiu para maior vigor vegetativo do amendoim. Já o bioestimulante SEED+ apresentou maior eficiência em doses intermediárias, destacando-se a concentração de 6 mL kg⁻¹ de sementes, enquanto a dose de 9 mL kg⁻¹ reduziu o crescimento. Sendo assim, desta forma tanto o uso do microrganismo quanto o manejo adequado das doses de bioestimulante podem representar estratégias sustentáveis para incrementar a cultura do amendoim em condições de solo arenoso do cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera, J., Do Nascimento, A. C. V., Rocha, A. S., De Oliveira, I. S., Guedes, J. V. F. L., Steiner, F., & Zuffo, A. M. (2024). Impact of applying the biostimulant Seed+ on initial growth of peanut

- cultivars. Trends in Agricultural and Environmental Sciences, 2, e240001-e240001. DOI: 10.46420/TAES.e240001
- Bereta, S. F.; Rosa, E. F. F.; Kaseker, J. F.; Nohatto, M. A.; & Luz, S. (2022). Coinoculação de produtos biológicos na cultura do amendoim. Agrarian, 15(55), e15717. DOI: 10.30612/agrarian.v15i55.15717
- Bertoncelli, P., dos Santos Cunha, V., Stecca, J. D. L., Fulaneti, F. S., Ferreira, M. M., & Martin, T. N. (2023). Tratamento químico de sementes de trigo e inoculação de *Azospirillum brasilense* no estabelecimento das plântulas. Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, 14(2), 31-44. DOI: 10.31072/rcf.v14i2.1304
- Bhering, L.L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 17, 187-190. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n2s29
- Bittencourt, S. R. M. D., Menten, J. O. M., Araki, C. A. D. S., Moraes, M. H. D. D., Rugai, A. D. R., Dieguez, M. J., & Vieira, R. D. (2007). Eficiência do fungicida carboxin+ thiram no tratamento de sementes de amendoim. Revista Brasileira de Sementes, 29, 214-222. DOI: 10.1590/S0101-31222007000200028
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2023). Safra Brasileira de Grãos. Boletim da Safra de Grãos: Safra 2022/23, v. 12,. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 13 out. 2024.
- De Paula Barbosa, K., do Nascimento Junior, L. F., Silva, P. C., Cavalcante, T. J., da Silva, A. A. F., & Santos, R. F. (2018). Desenvolvimento vegetativo de plantas de milho e soja em associações com bactérias fixadoras de nitrogênio e adubação nitrogenada. Acta Iguazu, 7(1), 51-59. DOI: 10.48075/actaiguaz.v7i1.16253
- Deng, C., Zeng, N., Li, C., Pang, J., Zhang, N., & Li, B. (2024). Mechanisms of ROS-mediated interactions between *Bacillus aryabhattai* LAD and maize roots to promote plant growth. BMC microbiology, 24(1), 327. DOI: 10.1186/s12866-024-03479-y
- Deng, C., Zhang, N., Liang, X., Huang, T., & Li, B. (2022). *Bacillus aryabhattai* LAD impacts rhizosphere bacterial community structure and promotes maize plant growth. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.102, n.14, p.6650-6657. DOI: 10.1002/jsfa.12032
- Dos Santos Schmoller, E., & Lazaretti, N. S. (2021). Enraizadores no tratamento de sementes de soja. Revista Cultivando o Saber, 22-30.
- Dos Santos, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA, 2013.
- Dos Santos, W. F., Peluzio, J. M., dos Santos, M. M., Lopes, L. A., Fidélis, C. A. S., Santos, L. F. S., ... & Hoffmeister, N. S. (2025). Desempenho de características agrônômicas para milho verde com e sem inoculação de *Azospirillum brasilense*. Observatório De La Economía Latinoamericana, 23(7), e10820-e10820.

- Fernandes, R. H., Vieira, B. S., Fuga, C. A. G., & Lopes, E. A. *Pochonia chlamydosporia* e *Bacillus subtilis* no controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em mudas de tomateiro. *Bioscience Journal*, v.30, n.1, p.34-38, 2014.
- Kielek, F. A., & Lazaretti, N. S. (2023). Avaliação na cultura do trigo após tratamento com bionematicida. *Revista Cultivando o Saber*, 97-107.
- Korber, L. P. P., Korber, Â. H. C., Grange, L., & Klahold, C. A. (2021). Eficiência de produtos biológicos na coinoculação de sementes de soja. *South American Sciences*, 2(2), e21109-e21109. DOI: 10.52755/sas.v2i2.109
- Oliveira, G. R. F., Silva, M. S., Marciano, T. Y. F., Proença, S. L., & Sá, M. E. Crescimento inicial do feijoeiro em função do vigor de sementes e inoculação com *Bacillus subtilis*. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.10, n.4, p.439-448, 2016.
- Pereira, B. T. V., Lopes, L. E., Ferreira, I. B. P. A., Boas, J. K. V., Aguilera, J. G., & Steiner, F. (2024). Crescimento inicial do milho em resposta a aplicação de enraizadores. *Trends in Agricultural and Environmental Sciences*, e240012-e240012.
- Ramesh, A., Sharma, S. K., Sharma, M. P., Yadav, N., & Joshi, O. P. (2014). Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. *Applied Soil Ecology*, 73, 87-96. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.08.009
- Souza, F. E. C.; Sousa, G. G.; Souza, M. V. P.; Freire, M. H. C.; Luz, L. N.; & Silva, F. D. B. (2019). Produtividade de diferentes genótipos de amendoim submetidos a diferentes formas de adubação. *Nativa*, v.7, n.4, p.383-388. DOI: 10.31413/nativa.v7i4.6683
- Steiner, F., Lopes, L. E., Vilas-Boas, J. K., Ferreira, I. B. P. A., Aguilera, J. G., & Zuffo, A. M. (2024). *Bacillus aryabhattai* dose recommendation for corn seed inoculation. *Trends in Agricultural and Environmental Sciences*, v.2, p.e240003-e240003. DOI: 10.46420/TAES.e240003
- Taiz, L., Zeiger, E., Möller, I. M., & Murphy, A. (2021). *Fundamentos de fisiologia vegetal-6*. Artmed Editora.
- Vázquez, G. H., Motta, R. M. K., Silva, M. R. R. D., & Vanzela, L. S. (2018). Inoculação com *Azospirillum brasilense* e tratamento de semente em trigo irrigado no noroeste Paulista. *Nucleus* (16786602), 15(2). DOI: 10.3738/1982.2278.2862
- Wylot, E.; Ramos, R. F.; Mello, A. M.; Sobucki, L.; Dossin, M. F.; & Pavanelo, A. M. (2019). Germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris* L. submetidas a diferentes tratamentos com bioestimulante. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 22(1), 121-130. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2019.v22i1.623
- Xu, H., Gao, J., Portieles, R., Du, L., Gao, X., & Borrás-Hidalgo, O. (2022). Endophytic bacterium *Bacillus aryabhattai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. *PLoS One*, v.17, n.8, p.e0272500. DOI:10.1371/journal.pone.0272500

***Bacillus aryabhattai* e o bioestimulante SEED+ promovem desenvolvimento inicial de plântulas de trigo**

Recebido em: 06/09/2025

Aceito em: 20/09/2025

 10.46420/9786585756679cap5

Maria Luisa Pagotto Costa de Assis 

Werverth Costa Martins 

Pedro Barbosa Silva 

Luiza Guidi Ganzella 

Emilio Veitía Candó 

Alan Mario Zuffo 

Fábio Steiner 

Jorge González Aguilera 

INTRODUÇÃO

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) desempenha um papel fundamental a nível mundial, sendo um dos alimentos básicos mais importantes para a alimentação humana (FAO, 2023). Com uma produção global significativa de 808 milhões na safra de 2022 (FAOSTAT, 2024), o trigo como cultivo estratégico é cultivado em diversas regiões do mundo, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e econômica de muitos países.

No contexto brasileiro, embora a produção de trigo não seja tão expressiva (10 mil toneladas na safra de 2022) quanto em outras regiões do mundo, sua importância é inegável (FAOSTAT, 2024). A União Europeia e países como a China, Índia e Rússia são os maiores produtores mundiais da cultura, ocupando o Brasil a 15ª posição no ranking (CONAB, 2023). O Brasil tem buscado aumentar sua produção interna de trigo para reduzir a dependência das importações e garantir a segurança alimentar da população, com incrementos sustentados nas últimas décadas (Borèm et al., 2021; FAOSTAT, 2024). A região do Cerrado brasileiro tem se destacado como uma área de potencial para a cultura do trigo, devido às suas condições favoráveis de clima e solo (Casagrande et al., 2024).

A produtividade da cultura do trigo é influenciada por uma série de fatores, incluindo o manejo adequado do solo, o uso de tecnologias modernas de semeadura e colheita, e a seleção de variedades adaptadas às condições locais promovendo um aumento dos rendimentos da cultura (Trindade et al., 2006; Nunes et al., 2015). Os bioestimulantes no tratamento de sementes têm sido testados em várias culturas como milho (da Silva et al., 2022, Mello et al., 2021; Gonzaga et al., 2023), arroz (Olsen et al., 2016), sementes de olerícolas (Romagna et al., 2019), entre outras culturas. No trigo trabalhos têm mostrado os efeitos benéficos que podem promover na cultura (Klein et al., 2013; Portella et al., 2016; Rieger; Simonetti, 2022; Geiss; Primieri, 2022), como estratégia de promover o aumento da expansão da cultura no Cerrado Sul-mato-grossense.

No caso específico do trigo, o uso de bioestimulantes no tratamento de sementes tem sido associado a melhorias significativas na germinação, no estabelecimento inicial das plantas e na produtividade dos cultivos (Geiss; Primieri, 2022). Estudos realizados com os bioestimulante SEED+ e STIMULATE (Zoz et al., 2019; De Oliveira et al., 2020) demonstraram que esses produtos podem promover um aumento na biomassa radicular, uma maior absorção de nutrientes e um desenvolvimento mais equilibrado das plantas de trigo. O uso na cultura do trigo nas condições de solos no Cerrado Sul-mato-grossense pode ser uma excelente estratégia de aumento da resposta da cultura e pode contribuir para obter uma maior produtividade e proteção a planta, e dessa forma, contribuir ao crescimento da triticultura brasileira.

As bactérias do gênero *Bacillus* têm se destacado como promotoras de crescimento vegetal devido às suas capacidades de solubilização de fosfato, produção de fitormônios, fixação de nitrogênio e biocontrole de patógenos (Fernandes et al., 2014; Oliveira et al., 2016; Kielek et al., 2023). Elas têm sido amplamente empregadas em diversas culturas agrícolas, incluindo trigo, milho, arroz, soja e outras. No contexto da cultura do trigo, o uso de *Bacillus* como promotor de crescimento tem mostrado resultados promissores (Sansinenea, 2019; Pradebon, 2023). Estudos têm demonstrado que a inoculação de sementes de trigo com *Bacillus* pode melhorar o crescimento das plantas, aumentar a absorção de nutrientes (Sonkurt et al., 2019) e melhorar a resistência a doenças (Witkowicz et al., 2021). A aplicação dessas bactérias no solo ou foliar tem sido associada a incrementos significativos na produtividade do trigo, tanto em nível internacional (Baig et al., 2012; Chandra et al., 2021) quanto no Brasil (Beneduzi et al., 2008).

No Brasil, estudos realizados em diferentes regiões do país têm demonstrado que a inoculação de sementes de trigo com *Bacillus* pode aumentar significativamente a produtividade da cultura, especialmente em condições de estresse ambiental (Fioreze et al., 2020). Além disso, essas bactérias têm mostrado potencial para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas pelo aporte de nitrogênio que elas aportam (Beneduzi et al., 2008). Esses resultados destacam a importância do uso de *Bacillus* como uma ferramenta eficaz para aumentar a produtividade e a resiliência da cultura do trigo no Brasil.

Partindo destes antecedentes, o objetivo deste estudo é avaliar os efeitos da aplicação do bioestimulante SEED+ e *Bacillus aryabhattai* no crescimento inicial de 14 cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivadas em condições de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de laboratório e casa de vegetação, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade de Cassilândia, MS (19°05'20" S; 51°48'24" W e altitude média de 510 m), no período de agosto de 2024 a julho de 2025.

O delineamento experimental empregado foi completamente casualizado em arranjo fatorial 4 x 14. Um primeiro fator associado com os tratamentos empregados foi constituído pela aplicação do bioestimulante SEED+ (T2), a bactéria *B. aryabhattai* (T3), a coinoculação de T2 e T3 (T4) e um tratamento controle sem aplicação de produtos (T1). Um segundo fator foi empregado formado por 14 cultivares de trigo (TBIO ATON, TBIO SINTONIA, BRS 404, BRS 264, TBIO CALIBRE, BIO 190057, TBIO DUQUE, BIO 190038, TBIO SOSSEGO, ORS FERROZ, TBIO CONVICTO, TBIO TRUNFO, Anahuac 75 e IAC 5 – Maringa).

Em condições de laboratório foram semeadas e conduzidas as plantas até a germinação inicial e depois transferidas para condições de casa de vegetação até o final do experimento. Inicialmente em condições de laboratório foram semeadas 30 sementes de quatro cultivares por bandejas de 7 litros com substrato de areia lavada peneirada, separadas cada cultivar a uns 10 cm entre fileiras. Foram empregadas quatro bandejas por tratamento, para ter as 14 cultivares semeadas em cada tratamento. Depois de semeadas as sementes foram tratadas com os diferentes tratamentos, simulando uma aplicação no solo. Ao todo foram empregadas 16 bandejas cada uma contendo até quatro cultivares, delas cada tratamento tinha 4 bandejas onde foram alocados os 14 cultivares empregados.



Figura 1. Imagens que ilustram o processo de semeadura no laboratório em substrato composto de areia lavada. Detalhe das linhas de semeadura e o posicionamento das sementes (a), aplicação dos tratamentos na linha de semeadura (b), e o desenvolvimento inicial do trigo (c).

O bioestimulante SEED+ foi aplicado em cada suco das sementes de cada cultivar com um volume de 5 ml do produto comercial por linha. A bactéria *B. aryabhattai* foi aplicada com um volume de 3,5 mL por linha de cada cultivar. O produto comercial empregado foi Acta Ary® (Acta Bio, Jaboticabal, São Paulo) contendo *B. aryabhattai* isolado CMAA 1363, com uma concentração mínima de 1.0×10^9 unidades formadoras de colônia por mililitro de inoculante (UFC mL⁻¹). A coinoculação do tratamento

T4 corresponde a combinação das mesmas quantidades aplicadas em T2 e T3 como descritas anteriormente. O controle foi estabelecido ao aplicar inicialmente 5 mL de água em cada linha. Após a instalação do experimento, as bandejas foram mantidas em condições de laboratório a temperatura ambiente e quando iniciada a germinação (a partir do terceiro dia de semeadas) as bandejas foram levadas a uma casa de vegetação até o final do experimento. A irrigação das bandejas foi realizada diariamente mantendo a areia próximo da capacidade de campo, por meio da reposição diária do consumo de água. Aplicação de adubação foi realizada empregando o Produto Plantar (5g do produto por litro de água), aplicado aos 12, 17 e 22 dias de instalado o experimento, e garantindo assim a nutrição das cultivares no substrato inerte empregado.

Foi realizado um teste de germinação para verificar o efeito das doses de bioestimulante nas diferentes cultivares de trigo durante os primeiros 14 dias de iniciado o experimento. Foi realizada a contagem da germinação diariamente até verificação da estabilização no surgimento das plântulas, e com esses dados foi estimada a germinação (G, %), o índice de velocidade de germinação (IVG, unidade) e o tempo médio de germinação (TMG, dias).

Aos 28 dias foi finalizado o experimento momento que foi realizada a individualização das plantas dentro de cada bandeja por cada tratamento e lavadas as plantas com abundante água. As plantas lavadas foram individualizadas e agrupadas em quatro grupos de cinco plantas, constituindo assim as repetições de cada tratamento. Foi mensurada a altura da planta (AP, cm), comprimento de raiz (CR, cm) e separada a parte aérea e raiz para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA, g) e da raiz (MSR, g). Em condições de estufa de ar forçado a 65 °C as amostras foram secadas por três dias até verificação de peso constante.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Correlações de Pearson foram realizadas entre todas as variáveis e verificada a relação entre elas. As análises estatísticas foram realizadas no software estatístico RBio (Bhering, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo avaliou o efeito do bioestimulante SEED+ e do *Bacillus aryabhattai* em aplicação isolada e conjunta, na germinação e desenvolvimento inicial de 14 cultivares de trigo. O ANOVA feito com as variáveis analisadas possibilitaram verificar que existe interação altamente significativa ($p < 0.001$) entre os dois fatores (cultivar x tratamento) avaliados (Tabela 1). Os CV evidenciam precisão experimental nos dados obtidos com valores abaixo de 30%.

Tabela 1. Resumo do ANOVA obtido ao avaliar o efeito do bioestimulante SEED+ e da bactéria *B. aryabhattai* em 14 cultivares de trigo em condições de laboratório.

FV*	GL	P-value						
		G (%)	IVG (unid.)	TMG (dias)	AP (cm)	CR (cm)	MSPA (g)	MSR (g)
Cultivar (C)	13	2,52e+30	3,19e+30	1,14e+31	1,57e-21	0,00e+00	8,48e-08	2.00e-12
Tratamento (T)	3	1,20e+29	2,40e+29	5,55e+29	0,00e+00	0,00e+00	0,00e+00	3.85e-10
C x T	39	1,06e+29	6,41e+28	8,82e+29	2,96e-19	1,31e-06	8,49e-07	3.82e-08
CV (%)		0.82	1,02	0,5	12,85	21,24	16,01	28,43

*FV: fontes de variação, GL: graus de liberdade, G: germinação, IVG: índice de velocidade de germinação, TMG: tempo médio de germinação, AP: altura da planta, CR: comprimento de raiz, MSPA: massa seca da parte aérea, MSR: massa seca da raiz, CV: coeficiente de variação.

Conforme evidenciado na Tabela 2, houve uma elevada taxa de germinação na maioria dos cultivares e tratamentos utilizados, apenas nas cultivares Trunfo e BIO 190038 independente do tratamento manifestaram percentagem de germinação abaixo de 50% o que pode estar influenciado pela baixa qualidade das sementes empregadas nestas duas cultivares, que se manifesta no controle. Quando comparado dentro dos tratamentos observa-se que no T2 e T3 a cultivar TBIO ATON foi quem se destacou com 100% de germinação em ambos os tratamentos diferenciando-se do restante das cultivares (Tabela 2). No tratamento T4 (coinoculação) a melhor percentagem de germinação foi obtida na cultivar TBIO SOSSEGO com 96.7%, diferenciando-se do restante das cultivares.

Quando avaliado a variação que os tratamentos manifestaram dentro de cada uma das cultivares, observa-se que houve uma resposta variável e esteve em dependência da combinação da cultivar e os tratamentos (Tabela 2). O tratamento T2 estimulou a germinação das cultivares BRS 404, BRS 264, TBIO DUQUE e TBIO DUQUE, entretanto, o tratamento T3 estimulou TBIO CALIBRE, TBIO 190057, BIO 190038 e TBIO CONVICTO. A coinoculação estimulou apenas a germinação da cultivar TBIO SINTONIA. As cultivares TBIO SOSSEGO e ORS FERROZ não mostraram variações quanto a germinação independente do tratamento aplicado. A utilização de diferentes bactérias do gênero *Bacillus*, demonstrou aumento positivo na taxa de germinação tanto nas sementes de trigo (Rosiello, 2017). Os resultados obtidos evidenciam que dependendo da combinação estabelecida a resposta é diferente.

Os bioestimulantes são substâncias capazes de melhorar a eficiência da absorção de nutrientes pela planta, atuando principalmente no metabolismo hormonal, atividade enzimática, absorção de água e nutrientes e na fotossíntese, sendo muitas vezes ricos em compostos de fitormônios como auxinas, giberelinas e citocinas, substâncias que auxiliam na divisão e alongamento celular, implicando diretamente na germinação o efeito das bactérias do gênero *Bacillus*, com enfoque em *B. aryabhattai*, como promotores de crescimento se dá principalmente pelo aumento da síntese de auxinas e giberelinas que tais bactérias proporcionam a planta, hormônios essenciais no processo germinativo (Bhattacharyya et al., 2017; Atroch et al., 2020).

Tabela 2. Comparação das médias das variáveis associadas com a germinação obtidas ao avaliar o efeito do bioestimulante SEED+ e da bactéria *B. aryabhatai* em 14 cultivares de trigo em condições de laboratório.

Cultivares	Germinação (%)			
	T1*	T2	T3	T4
TBIO ATON	100,0 Aa	100,0 Aa	100,0 Aa	93,3 Bc
TBIO SINTONIA	83,3 Cg	86,7 Bg	86,7 Bf	93,3 Ad
BRS 404	96,7 Bb	100,0 Aa	93,3 Cd	90,0 De
BRS 264	90,0 Ce	96,7 Ab	90,0 Ce	93,3 Bd
TBIO CALIBRE	93,3 Cd	96,7 Bc	100,0 Aa	90,0 De
BIO 190057	70,0 Ch	73,3 Bh	76,7 Ah	70,0 Ch
TBIO DUQUE	86,7 Cf	96,7 Ad	83,3 Dg	90,0 Be
BIO 190038	50,0 Bj	43,3 Ci	53,3 Ak	36,7 Dj
TBIO SOSSEGO	96,7 Ac	96,7 Ae	96,7 Ab	96,7 Aa
ORS FERROZ	96,7 Ac	96,7 Ae	96,7 Ac	96,7 Ab
TBIO CONVICTO	90,0 Be	86,7 Cg	96,7 Ac	83,3 Dg
Trunfo	56,7 Ai	43,3 Di	46,7 Cl	53,3 Bi
Anhauac 75	100,0 Aa	93,3 Cf	66,7 Dj	96,7 Bb
IAC 5 - Maringa	100,0 Aa	100,0 Aa	70,0 Ci	86,7 Bf
	Índice de velocidade de germinação (unidade)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	9,33 Bb	9,62 Aa	9,33 Ba	8,33 Cb
TBIO SINTONIA	7,23 Ci	7,70 Aj	7,35 Bh	7,70 Ai
BRS 404	8,50 Bg	8,25 Ch	8,92 Ab	7,75 Dh
BRS 264	8,62 Cf	9,02 Af	8,67 Bc	7,84 Dg
TBIO CALIBRE	8,75 Be	9,20 Ad	8,27 Cd	7,92 Df
BIO 190057	5,38 Dk	5,83 Cl	6,18 Bk	6,20 Al
TBIO DUQUE	6,60 Bj	6,79 Ak	5,70 Dl	6,57 Ck
BIO 190038	2,90 Bm	2,63 Cn	3,15 An	2,59 Dn
TBIO SOSSEGO	8,75 Be	9,42 Ab	8,25 Ce	8,23 Dc
ORS FERROZ	8,87 Bd	9,08 Ae	8,12 Df	8,70 Ca
TBIO CONVICTO	7,33 Dh	8,17 Ai	7,99 Bg	7,42 Cj
Trunfo	3,33 Cl	3,35 Bm	3,20 Dm	3,41 Am
Anhauac 75	9,00 Ac	8,33 Bg	6,39 Dj	8,15 Cd
IAC 5 - Maringa	9,83 Aa	9,24 Bc	6,73 Di	8,12 Ce
	Tempo médio de germinação (dias)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	3,27 Bj	3,17 Cm	3,27 Bi	3,46 Ak
TBIO SINTONIA	3,56 Ce	3,54 Df	3,77 Af	3,75 Be
BRS 404	3,55 Cf	3,93 Ad	3,18 Dl	3,56 Bh
BRS 264	3,19 Cl	3,31 Bi	3,15 Dm	3,71 Af
TBIO CALIBRE	3,25 Ck	3,21 Dl	3,77 Af	3,48 Bj
BIO 190057	4,00 Ac	3,91 Ce	3,96 Bd	3,52 Di
TBIO DUQUE	4,00 Dc	4,55 Bb	4,56 Ac	4,41 Cc
BIO 190038	5,67 Aa	5,08 Ca	5,31 Ba	4,45 Db
TBIO SOSSEGO	3,38 Ch	3,10 Dn	3,59 Bh	3,62 Ag
ORS FERROZ	3,34 Ci	3,24 Dj	3,66 Ag	3,41 Bl
TBIO CONVICTO	3,74 Bd	3,23 Dk	3,79 Ae	3,48 Cj
Trunfo	5,53 Ab	4,15 Dc	4,64 Cb	5,06 Ba
Anhauac 75	3,40 Cg	3,43 Bg	3,25 Dj	3,79 Ad
IAC 5 - Maringa	3,07 Dm	3,40 Ah	3,19 Ck	3,31 Bm

* Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha representam diferenças significativas pelo teste Scott-Knott ao 5% de probabilidade, Tratamento controle sem aplicação de produtos (T1), Bioestimulantes SEED+ (T2), a bactéria *B. aryabhatai* (T3), a coinoculação de T2 e T3 (T4),

A altura da planta e o efeito dos tratamentos aplicados é mostrado na Tabela 3, Observa-se que no T2 houve uma diferenciação das cultivares com superioridade para a cultivar BRS 404 com 28,53 cm de altura, No T3 a superioridade foi da cultivar TBIO CONVICTO e no T4 o destaque foi BRS 404, BRS 264, BIO 190057, TBIO SOSSEGO, TBIO CONVICTO, Trunfo, Anahuac 75 e IAC 5 – Maringa, todas manifestando os maiores valores para AP (Tabela 3), A coinoculação para esta variável foi quem, mas cultivares estimulou, Segundo Nakatani et al, (2024) um estudo realizado com milho comprovou que a aplicação de *B. aryabhatai* resultou em aumento dos teores de nitrogênio da planta, aumentando sua massa vegetal e proporcionando redução em até 25% do uso de fertilização nitrogenada, Nakatani et al, (2024) ainda relata que os benefícios mostrados com a inoculação de *Bacillus* spp, estão relacionados a habilidade dessas bactérias em promover o crescimento vegetal através da produção fitormônios como giberelinas, responsáveis pelo alongamento do caule e aumento de área foliar, e também de auxinas que estimulam o desenvolvimento radicular, proporcionando maior capacidade de absorção de água,

As médias para a variável de comprimento de raiz mostraram-se mais satisfatórias quando submetidas ao bioestimulante (T2), demonstrando maior número de cultivares com seis que não se diferenciara, quando no T3 e T4 foram apenas duas e uma, respectivamente, as que se destacaram do restante das cultivares, o que evidencia o estímulo que o SEED+ promove nas plântulas de trigo (Tabela 3).

O acúmulo de massa seca da parte aérea mostrou-se mais expressivo nas plântulas as quais foram submetidas ao tratamento com *Bacillus* isolado (T3), destacando-se sete cultivares, em relação aos tratamentos T2 e T4 que ambos estimularam cinco e uma cultivar, respectivamente (Tabela 4). De acordo com May et al. (2019) as bactérias do gênero *Bacillus* promovem a secreção de giberelinas, ácido abscísico, citocinas e ácido indol-acético. Esses fitormônios são capazes de alterar a arquitetura do sistema radicular da planta morfológica e anatomicamente, promovendo o desenvolvimento das raízes, intensificando a absorção de nutrientes pelas plantas, atuando no incremento da solubilização de fosfatos, nitratos, Ca, Mg, Zn e Si, tornando mais assimiláveis para raízes funcionais.

A interação entre plantas e bactérias diazotróficas associativas é favorável ao desenvolvimento radicular, aumentando a capacidade de absorção de água e nutrientes minerais, tendo como consequência a potencialização do aproveitamento de fertilizantes nitrogenados e resultando em maior acúmulo de matéria seca (Taiz et al., 2021). Além disso, também confere maior tolerância a estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico, e a estresses bióticos, incluindo a ação de patógenos.

O comportamento da massa seca da raiz é mostrado na Tabela 4. Os resultados mostram que houve variação na resposta e que o tratamento T2 manifestou os maiores valores nas cultivares BIO 190057, TBIO DUQUE, BIO 190038, TBIO SOSSEGO, ORS FERROZ, TBIO CONVICTO e Trunfo, entretanto para o tratamento T3 não houve diferenças entre as cultivares. A co-inoculação evidenciou apenas na cultivar BIO 190038 um estímulo que a diferenciou das outras cultivares.

A inoculação de microrganismos logo no tratamento de semente demonstra inúmeros benefícios no desenvolvimento, incluindo a melhoria no índice de germinação, emergência de plântulas, disponibilidade de nutrientes e enraizamento, constatando que a utilização de bactérias promotoras de crescimento é uma ferramenta indispensável na busca de um modelo de agricultura mais sustentável e menos danosa ao meio ambiente.

Tabela 3. Comparação das médias das variáveis associadas com o desenvolvimento das plantas obtidas ao avaliar o efeito do bioestimulante SEED+ e da bactéria *B. aryabhatai* em 14 cultivares de trigo em condições de laboratório,

Cultivares	Altura da planta (cm)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	20,20 Cb	26,67 Ab	23,10 Bb	25,76 Ab
TBIO SINTONIA	19,93 Bb	25,03 Ab	23,13 Ab	24,90 Ab
BRS 404	18,50 Cb	28,53 Aa	23,83 Bb	28,30 Aa
BRS 264	20,30 Cb	23,53 Bc	23,50 Bb	28,73 Aa
TBIO CALIBRE	22,53 Aa	25,00 Ab	23,30 Ab	24,76 Ab
BIO 190057	20,07 Cb	21,97 Bc	23,87 Bb	28,07 Aa
TBIO DUQUE	22,37 Aa	23,17 Ac	22,17 Ab	22,73 Ac
BIO 190038	21,07 Bb	20,60 Bd	24,20 Ab	22,77 Ac
TBIO SOSSEGO	24,17 Ba	25,76 Bb	24,73 Bb	27,67 Aa
ORS FERROZ	23,77 Aa	25,43 Ab	25,67 Ab	25,83 Ab
TBIO CONVICTO	25,43 Ba	25,73 Bb	28,77 Aa	30,07 Aa
Trunfo	23,53 Ba	20,36 Cd	24,58 Bb	26,83 Aa
Anhauac 75	20,27 Cb	25,80 Ab	23,60 Bb	27,47 Aa
IAC 5 - Maringa	23,80 Ba	25,90 Ab	23,43 Bb	27,30 Aa
	Comprimento de raiz (cm)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	25,10 Ab	23,60 Aa	27,93 Ab	23,70 Ab
TBIO SINTONIA	25,80 Aa	22,20 Ba	29,00 Ab	22,93 Bc
BRS 404	23,63 Ab	19,60 Bb	25,43 Ab	20,87 Bc
BRS 264	29,77 Aa	23,40 Ba	23,53 Bb	26,73 Aa
TBIO CALIBRE	29,33 Aa	23,90 Ba	28,40 Ab	21,60 Bc
BIO 190057	22,87 Ab	19,03 Bb	26,47 Ab	20,33 Bc
TBIO DUQUE	23,93 Ab	20,40 Ab	23,60 Ab	22,33 Ac
BIO 190038	28,73 Ba	18,80 Db	35,13 Aa	24,27 Cb
TBIO SOSSEGO	23,60 Ab	20,27 Ab	25,33 Ab	23,67 Ab
ORS FERROZ	27,90 Aa	20,27 Bb	26,60 Ab	20,93 Bc
TBIO CONVICTO	26,73 Ba	25,73 Ba	32,43 Aa	28,29 Ba
Trunfo	21,43 Ab	17,29 Bb	25,04 Ab	18,75 Bc
Anhauac 75	22,80 Ab	23,80 Aa	25,27 Ab	24,40 Ab
IAC 5 - Maringa	21,87 Ab	16,73 Bb	25,87 Ab	22,47 Ac

* Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha representam diferenças significativas pelo teste Scott-Knott ao 5% de probabilidade. Tratamento controle sem aplicação de produtos (T1), Bioestimulantes SEED+ (T2), a bactéria *B. aryabhatai* (T3), a coinoculação de T2 e T3 (T4).

Tabela 4. Comparação das médias das variáveis associadas com a massa seca obtidas ao avaliar o efeito do bioestimulante SEED+ e da bactéria *B. aryabhatai* em 14 cultivares de trigo em condições de laboratório.

Cultivares	Massa seca da parte aérea (g)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	0,026 Bb	0,050 Aa	0,036 Bb	0,045 Ac
TBIO SINTONIA	0,021 Bb	0,038 Ab	0,039 Ab	0,040 Ac
BRS 404	0,034 Bb	0,051 Aa	0,052 Aa	0,049 Ac
BRS 264	0,032 Cb	0,046 Ba	0,047 Ba	0,063 Ab
TBIO CALIBRE	0,030 Cb	0,044 Bb	0,032 Cb	0,057 Ab
BIO 190057	0,048 Aa	0,042 Ab	0,049 Aa	0,057 Ab
TBIO DUQUE	0,039 Aa	0,042 Ab	0,040 Ab	0,040 Ac
BIO 190038	0,035 Ab	0,038 Ab	0,044 Aa	0,038 Ac
TBIO SOSSEGO	0,040 Aa	0,038 Ab	0,041 Ab	0,043 Ac
ORS FERROZ	0,042 Aa	0,041 Ab	0,048 Aa	0,050 Ac
TBIO CONVICTO	0,043 Ba	0,043 Bb	0,055 Aa	0,058 Ab
Trunfo	0,043 Aa	0,047 Aa	0,044 Aa	0,045 Ac
Anhauac 75	0,041 Ca	0,057 Bb	0,029 Cb	0,074 Aa
IAC 5 - Maringa	0,043 Ba	0,052 Aa	0,037 Bb	0,056 Ab
	Massa seca da raiz (g)			
	T1	T2	T3	T4
TBIO ATON	0,032 Bb	0,054 Ab	0,070 Aa	0,075 Ac
TBIO SINTONIA	0,036 Bb	0,036 Bb	0,057 Ba	0,099 Ab
BRS 404	0,041 Bb	0,036 Bb	0,045 Ba	0,093 Ab
BRS 264	0,028 Bb	0,030 Bb	0,031 Ba	0,068 Ac
TBIO CALIBRE	0,119 Aa	0,060 Bb	0,060 Ba	0,085 Bb
BIO 190057	0,100 Aa	0,081 Aa	0,073 Aa	0,078 Ac
TBIO DUQUE	0,048 Ab	0,088 Aa	0,065 Aa	0,060 Ac
BIO 190038	0,057 Bb	0,095 Ba	0,078 Ba	0,172 Aa
TBIO SOSSEGO	0,096 Aa	0,073 Ba	0,067 Ba	0,047 Bc
ORS FERROZ	0,057 Ab	0,075 Aa	0,062 Aa	0,069 Ac
TBIO CONVICTO	0,051 Bb	0,076 Aa	0,081 Aa	0,101 Ab
Trunfo	0,048 Bb	0,069 Aa	0,076 Aa	0,096 Ab
Anhauac 75	0,031 Ab	0,047 Ab	0,052 Aa	0,064 Ac
IAC 5 - Maringa	0,030 Ab	0,046 Ab	0,056 Aa	0,073 Ac

* Letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha representam diferenças significativas pelo teste Scott-Knott ao 5% de probabilidade. Tratamento controle sem aplicação de produtos (T1), Bioestimulantes SEED+ (T2), a bactéria *B. aryabhatai* (T3), a coinoculação de T2 e T3 (T4).

CONCLUSÕES

O uso de bioinsumos, especialmente *Bacillus aryabhataii*, apresentou efeito satisfatório no desenvolvimento inicial do trigo, destacando-se o tratamento da inoculação isolada da bactéria. Os resultados evidenciam o potencial do uso de bioinsumos como alternativa para uma produção mais sustentável, entretanto novos estudos são recomendados, principalmente em condições de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atroch, E.M.A.C., et al. Reguladores de crescimento na germinação de sementes e vigor de plântulas de guaranazeiro. Biodiversidade, Cuiabá, v.19, n.1, p.40-49, 2020.
- Baig, K. S., Arshad, M., Shaharoon, B., Khalid, A., & Ahmed, I. Comparative effectiveness of *Bacillus* spp. possessing either dual or single growth-promoting traits for improving phosphorus uptake, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Annals of microbiology, v.62, p.1109-1119, 2012.
- Bhattacharyya, C., et al. Genome-guided insights into the plant growth promotion capabilities of the physiologically versatile *Bacillus aryabhataii* strain AB211. Frontiers in microbiology, v.8, p.411, 2017.
- Bhering, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.17, p.187-190, 2017
- Borém, A., Miranda, G. V., & Fritsche-Neto, R. Melhoramento de plantas. 8 ed. São Paulo: Oficina dos Livros. 2021.
- Casagrande, C. R., Mezzomo, H. C., De Sousa, D. J. P., Dos Santos, C. V., Yamanaka, C. H., Olivoto, T., ... & Nardino, M. Envirotypes applied to evaluate the adaptability and stability of wheat genotypes in the tropical region in Brazil. Euphytica, v.220, n.2, p.27, 2024.
- Chandra, P., Khobra, R., Sundha, P., Sharma, R. K., Jasrotia, P., Chandra, A., ... & Singh, G. P. Plant growth promoting *Bacillus*-based bio formulations improve wheat rhizosphere biological activity, nutrient uptake and growth of the plant. Acta Physiologiae Plantarum, v.43, p.1-12, 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Terceiro levantamento, dezembro 2022. 2023. Disponível em: [22https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/45427_510a1459a11d50bd53a250780fea86a4.pdf](https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/45427_510a1459a11d50bd53a250780fea86a4.pdf).> Acesso em: 17 nov. 2023
- da Silva, G. C., & Simonetti, A. P. M. M. Influência do trigo mourisco e diferentes bioestimulantes orgânicos na germinação e desenvolvimento inicial do milho. Revista Cultivando o Saber, 11-22, 2022.
- De Oliveira, S., Lemes, E., Neves, E., Ritter, R., De Mendonça, A., & Meneghello, G. Uso de biorregulador e seus reflexos na produção e na qualidade de sementes de trigo. Scientia Plena, v.16, n.1, 2020.

- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. 2023. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products. 2024. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>
- Fernandes, R. H., Vieira, B. S., Fuga, C. A. G., & Lopes, E. A. Pochonia chlamydosporia e *Bacillus subtilis* no controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em mudas de tomateiro. Bioscience Journal, v.30, n.1, p.34-38, 2014.
- Geiss, A. M., & Primieri, C. Bioestimulantes no tratamento de sementes e seus efeitos na emergência e desenvolvimento inicial do trigo. Revista Cultivando o Saber, p.145-156, 2022.
- Gonzaga, B. A., de Andrade, C. L. L., & Cabral Filho, F. R. Tratamento de sementes de milho com bioestimulante. Brazilian Journal of Science, 2(3), 46-53, 2023.
- Kielek, F. A., & Lazaretti, N. S. Avaliação na cultura do trigo após tratamento com bionemática. Revista Cultivando o Saber, p.97-107, 2023.
- Klein, V. A., Navarini, L. L., Klein, C., Costa, L. O., Barbosa, E. A., & Steffler, V. A. Propriedades físicas do solo e rendimento de grãos de trigo em função de manejo do solo e uso de bioestimulantes. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, 19(1/2), 24-32, 2013.
- Mello, W. M., Santos, J. O. D., & Ohse, S. Vigor de sementes de milho tratadas com bioestimulantes. Visão Acadêmica, 22(1), 4-19, 2021.
- Nakatani, A. S., Gato, I. M. B., Sandini, I. E. Uso de diferentes *Bacillus* spp. promotores de crescimento vegetal associado com adubação nitrogenada na cultura do milho. Observatório De La Economía Latinoamericana, v.22, n.3, p.e3733-e3733, 2024.
- Nunes, P. H. M. P., Aquino, L. A., Santos, L. P. D. D., Xavier, F. O., Dezordi, L. R., & Assunção, N. S.. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39(1), 174-182, 2015.
- Oliveira, G. R. F., Silva, M. S., Marciano, T. Y. F., Proença, S. L., & Sá, M. E. Crescimento inicial do feijoeiro em função do vigor de sementes e inoculação com *Bacillus subtilis*. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v.10, n.4, p.439-448, 2016.
- Olsen, D., Pedó, T., Koch, F., Martinazzo, E. G., Aumonde, T. Z., & Villela, F. A. Tratamento de sementes com bioestimulante: vigor e isoenzimas de plântula de arroz de sequeiro sob restrição hídrica. Agrarian, 9(34), 296-302, 2016.
- Portella, G. L., Alvarez, J. W. R., Figueredo, J. C. K., & Trinidad, S. A. Época de aplicação de bioestimulante na cultura do trigo. Revista cultivando o saber, 9(2), 85-97, 2016.
- Pradebon, F. B. Insumos biológicos no crescimento inicial do trigo. 2023. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2022.
- Rieger, A. F., & Simonetti, A. P. M. M. Eficiência da aplicação de bioestimulantes nos parâmetros de desenvolvimento iniciais da cultura do trigo. Revista Cultivando o Saber, 106-114, 2022.

- Romagna, I. S., Junges, E., Karsburg, P., & Pinto, S. D. Q. Bioestimulantes em sementes de olerícolas submetidos a testes de germinação e vigor. *Scientia Plena*, 15(10), 2019.
- Rosiello, R. A. V. F. Testes de concentrações de manipueira na produção de inóculo à base de *Bacillus subtilis* sobre o crescimento do trigo. Tese de bacharelado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- Sansinenea, E. *Bacillus* spp.: As plant growth-promoting bactéria. Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms: Discovery and applications, p.225-237, 2019.
- Sonkurt, M., & Çiğ, F. The effect of plant growth-promoting bactéria on the development, yield and yield components of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum*) wheats. *Applied Ecology & Environmental Research*, v.17, n.2, 2019.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. Fundamentos de fisiologia vegetal-6. 2021. Artmed Editora.
- Trindade, M. D. G., Stone, L. F., Heinemann, A. B., Cánovas, A. D., & Moreira, J. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10, 24-29, 2006.
- Witkowicz, R., Skrzypek, E., Gleń-Karolczyk, K., Krupa, M., Biel, W., Chłopicka, J., & Galanty, A. Effects of application of plant growth promoters, biological control agents and microbial soil additives on photosynthetic efficiency, canopy vegetation indices and yield of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Biological Agriculture & Horticulture*, v.37, n.4, p.234-251, 2021.
- Zoz, T., Vendruscolo, E. P., Witt, T. W., Da Silva Oliveira, C. E., Zoz, J., & Zoz, A. Does *Azospirillum brasilense* and Stimulate® to improve the initial growth of wheat sown at greater depths?. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.14, n.1, p.1-8, 2019.

Métodos de aplicação de biorreguladores no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar

Recebido em: 08/09/2025

Aceito em: 20/09/2025

 10.46420/9786585756679cap6

Myrella de Mello Domingues 

Pedro Barbosa Silva 

Jiovana Kamilla Vilas Boas 

Jorge González Aguilera 

Fábio Steiner 

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas de maior importância para a economia brasileira, especialmente devido à sua utilização na produção de biocombustíveis e de seus derivados, e na produção de bioenergia por meio da combustão da biomassa (Huang et al., 2020). Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e, na safra 2025/26, o país deve ser responsável pela produção de 670 milhões de toneladas de colmos (CONAB, 2025). A produtividade média brasileira estimada para a safra 2025/26 é de 75,6 Mg ha⁻¹, considerada muito baixa quando comparada com o potencial de produção da cultura que é superior a 200 Mg ha⁻¹ (Santos; Borém, 2013).

Dentre as tecnologias que podem ser utilizadas para melhorar o desenvolvimento das plantas e impulsionar a produtividade das lavouras de cana-de-açúcar, a utilização de bioinsumos, especialmente de reguladores vegetais têm-se destacado nos últimos anos (Dias et al., 2015; Moraes et al., 2020; Santos et al., 2020; Jacomassi et al., 2022; Silva et al., 2024). Portanto, com a finalidade de obter altos níveis de produtividade, as pesquisas com a utilização de produtores químicos ou biológicos classificados como biorreguladores vem aumentando e têm se tornado técnica cada vez mais comum no cultivo de culturas de elevada expressão econômica para o Brasil, como a cultura de cana-de-açúcar.

No entanto, atualmente, existem diversos produtos comerciais que são constituídos por nutrientes, hormônios vegetais e/ou extratos de algas e podem ser utilizadas na agricultura para maximizar o desenvolvimento e a produtividade da lavoura de cana-de-açúcar. Estes biorreguladores quando aplicados nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, ou no tratamento dos minirrebolos da cana-de-açúcar, podem atuar no incremento do metabolismo fisiológico, hormonal e nutricional das plantas, o que pode estimular o crescimento das plantas, especialmente do sistema radicular e melhorar a capacidade de desenvolvimento das plantas sob condições ambientais estressantes (Ugena et al., 2018; Jacomassi et al., 2022). Yakhin et al. (2017) ainda afirmaram que, em função da sua composição, concentração e proporção de substâncias, os biorreguladores podem incrementar o

crescimento e desenvolvimento das plantas devido ao estímulo da divisão celular e ao aumento na capacidade de absorção de água e nutrientes.

Estudos realizados por Ferreira et al. (2013) reportou efeito benéfico do uso de biorregulador no aumento do perfilhamento e do crescimento das plantas de cana-de-açúcar. De modo similar, Santos et al. (2020) verificaram que a aplicação foliar de biorregulador incrementou a produtividade e o teor de açúcar nos colmos da variedade de cana-de-açúcar RB86-7515. No entanto, Brozeguini (2023) reportou que a aplicação de biorregulador não influenciou no desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Oliveira et al. (2013) também constataram que a aplicação de biorregulador à base de hormônio vegetais (Stimulate[®]) não incrementou a produtividade e a qualidade dos colmos de cana-de-açúcar. Trabalho reportado por Ferreira et al. (2020), também mostrou que o uso de biorregulador não melhorou a produtividade de colmos da cana-de-açúcar. Estes resultados contraditórios sugerem que novos estudos devem ser realizados para avaliar o efeito do uso de diferentes biorreguladores na indução do crescimento das plantas de cana-de-açúcar.

Além disso, a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de biorregulador pode ser dependente do método ou época de aplicação. A aplicação de biorregulador pode ser realizada de diferentes formas, e a escolha do método depende de vários fatores, incluindo o tipo de produto, as condições de crescimento e o método de plantio (Lopes et al., 2020). Os principais métodos de aplicação de biorregulador na cultura da cana-de-açúcar envolvem o tratamento do minirrebolo, aplicação no sulco de plantio e aplicação foliar.

O tratamento de minirrebolos de cana-de-açúcar com biorregulador tem como objetivo melhorar o desenvolvimento e a qualidade das mudas pré-brotadas (MPB) (Gomes, 2020). Por sua vez, a aplicação de biorregulador no sulco de plantio tem como objetivo promover a melhoria no desenvolvimento do sistema radicular, uniformidade do estande de plantas, além do melhor aproveitamento dos nutrientes do solo (Marques-Júnior et al., 2008; Costa et al., 2011). Por sua vez, a aplicação foliar de biorregulador pode promover o equilíbrio hormonal e nutricional das plantas, favorecendo a expressão do seu potencial genético e estimulando o desenvolvimento do sistema radicular (Costa et al., 2011; Civiero et al., 2016). Além disso, a aplicação foliar de biorregulador pode ajudar a planta a se desenvolver mais rapidamente, reduzindo estresses, sejam nutricionais ou por pragas, doenças e condições ambientais.

Santos et al. (2020) reportou que a aplicação foliar de biorregulador à base de extratos de algas e nutrientes foi capaz de incrementar a produtividade e o teor de açúcar da variedade de cana-de-açúcar RB86-7515. No entanto, estes autores verificaram que a aplicação foliar de biorregulador à base de hormônios vegetais não influenciou o desenvolvimento e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar. Por sua vez, Silva et al. (2010) verificaram que o uso de biorregulador proporcionou o melhor enraizamento e o maior incremento da produção de colmos de cana-de-açúcar. Portanto, é importante considerar não apenas o método de aplicação, mas também o tipo de biorregulador e a dose correta a ser aplicada nas lavouras de cana-de-açúcar.

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficácia agrônômica dos métodos de aplicação de biorreguladores à base de hormônios vegetais ou de extratos de algas e nutrientes no desenvolvimento inicial das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivadas em um solo arenoso do Cerrado Sul-Mato-Grossense.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de casa de vegetação, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade de Cassilândia, MS (19°05'20" S; 51°48'24" W e altitude média de 510 m), no período de agosto de 2024 a julho de 2025. As amostras de solo utilizadas no experimento foram coletadas na camada superficial (0-20 cm) de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico (NQo) de textura arenosa (120 g kg⁻¹ de argila, 40 g kg⁻¹ de silte e 840 g kg⁻¹ de areia). Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, e passado em peneira de malha de 2,0 mm e acondicionadas nos vasos plásticos de 8 dm³.

A correção da acidez do solo foi realizada por meio da aplicação de calcário visando elevar a saturação por base do solo a 70% (Sousa; Lobato, 2004). Em seguida, o solo foi umedecido até alcançar 80% da capacidade de campo, e mantido incubado durante um período de 40 dias.

Após o período de incubação com calcário, o solo foi seco ao ar e fertilizado com 100 mg dm⁻³ de N (ureia), 250 mg dm⁻³ de P (superfosfato triplo), 100 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio), 15 mg dm⁻³ de S (gesso agrícola), 5 mg dm⁻³ de Cu (sulfato de cobre), 5 mg dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm⁻³ de Mo (molibdato de amônio) e 2 mg dm⁻³ de B (bórax). Posteriormente, foi acondicionado em vasos de 8 dm³ de capacidade e submetido ao cultivo de cana-de-açúcar por aproximadamente 120 dias.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2 × 2 × 6 com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelo uso de duas cultivares de cana-de-açúcar (RB86-7515 e RB96-6928). O segundo fator foi constituído pelo uso dois biorreguladores, um produto à base de hormônios vegetais (Stimulate®) e outro à base de extrato de algas e nutrientes (Seed+®). O terceiro fator foi constituído por seis métodos de aplicação de biorregulador: i) controle (sem biorregulador), ii) aplicação de biorregulador no tratamento do minirrebolo; iii) aplicação do biorregulador no sulco de plantio; iv) aplicação foliar do biorregulador; v) aplicação de biorregulador no tratamento do minirrebolo + aplicação foliar; e, vi) aplicação de biorregulador no sulco de plantio + aplicação foliar. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 8 dm³, perfazendo um total de 96 vasos.

O biorregulador à base de hormônio vegetal utilizado foi o Stimulate®, o qual é constituído por 0,9% de cinetina, 0,5% de ácido giberélico e 0,5% de ácido indol-butírico (Stoller Brasil Ltda.). O biorregulador à base de extratos de alga e nutriente utilizado foi o Seed+®, o qual é constituído por uma solução ionizada com densidade de 1,23 g mL⁻¹, contendo 1,0% de magnésio (Mg), 2,9% de enxofre (S),

1,8% de ferro (Fe), 2,0% de zinco (Zn) e extrato de algas como agente complexante (FMC - Química do Brasil Ltda.). A aplicação foliar dos bioestimulantes foram realizadas quando as plantas apresentaram três folhas totalmente expandidas. As doses de bioestimulante utilizadas foram determinadas com base em bioensaios prévios para definir a dose ótima a ser aplicada em cada método de aplicação.

O plantio das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar para os vasos foi realizado em outubro de 2024, utilizando-se mudas com 28 dias de idade (Figura 1C e 1D), oriundas de minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) de 4,0 cm de comprimento (Figura 1A), produzidas em bandejas plásticas (42 × 28 × 6 cm) contendo substrato comercial (Carolina Soil®) (Figura 1C). Após o plantio, as plantas foram mantidas em condições de casa de vegetação por um período de 120 dias (Figura 1E e 1F). Todos os vasos foram irrigados para manter o conteúdo de água próximo a capacidade de retenção de água do solo por meio de sistema automatizado de microaspersão.

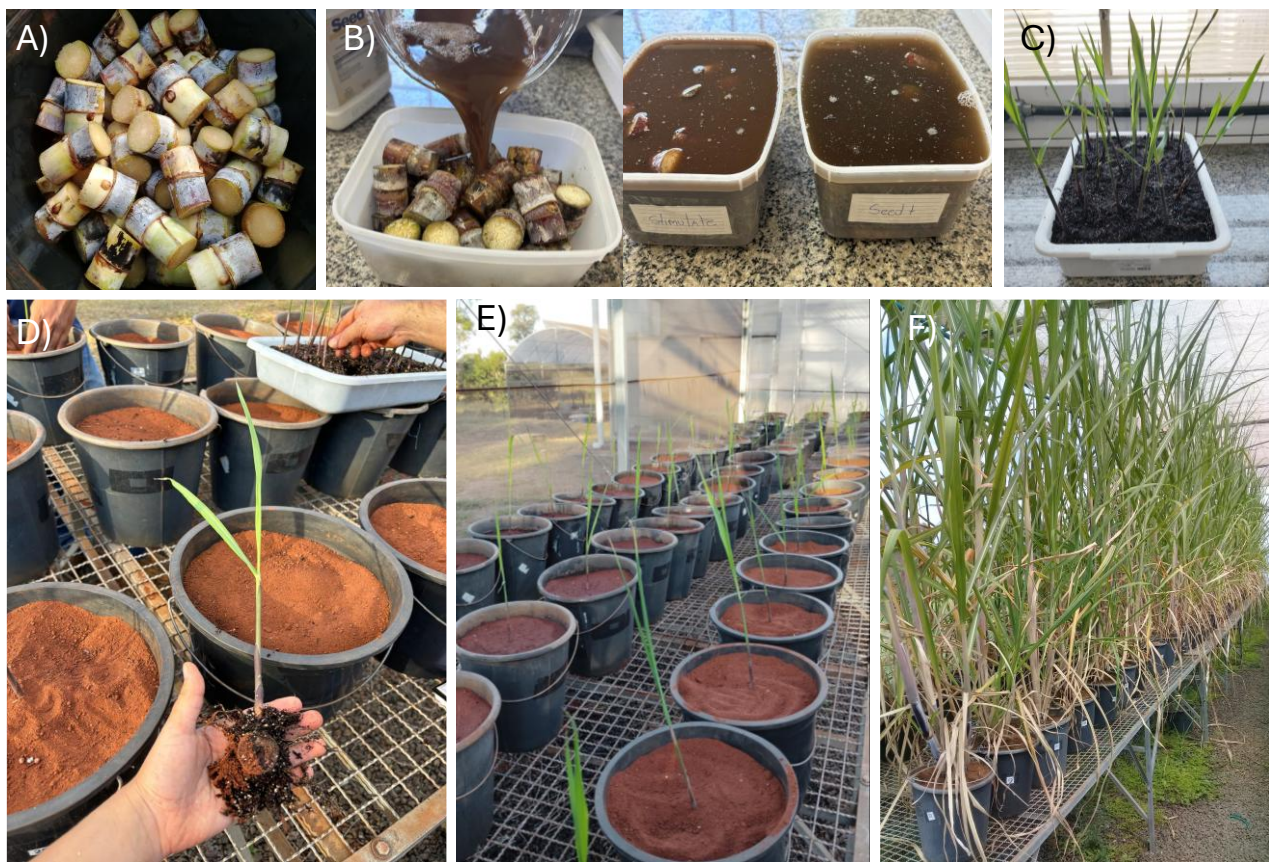


Figura 1. Minirrebolos de cana-de-açúcar de 4,0 cm de comprimento (A), tratamento dos minirrebolos com os biorreguladores (B), mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com 28 dias (C), transplante das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar nos vasos de 8 L contendo solo arenoso (D), plantas de cana-de-açúcar aos 7 dias após o transplante das mudas pré-brotadas (E) e plantas de cana-de-açúcar aos 120 dias após o transplante, no momento das avaliações das características morfológicas (F). UEMS/Cassilândia, 2025. Foto: Os autores.

Aos 120 dias foram avaliadas as seguintes características morfológicas das plantas: número de perfilhos (NP), número de folhas (NF), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca da parte aérea (MSPA). A altura da planta

(AP), em centímetros, foi determinada a partir do nível do solo até a inserção da última folha do colmo principal com auxílio de régua milimetrada (Figura 05). O diâmetro do colmo (DC), em milímetros, foi mensurado na parte central do primeiro entrenó do colmo principal das plantas utilizando um paquímetro digital (Park Tool DC1 – 150 mm) (Figura 06), com grau de precisão de $\pm 0,01$ mm.

As determinações da matéria seca das folhas (MSF) e do colmo (MSC) foram efetuadas a partir do material seco em estufa de circulação de ar forçada, regulada para 65 °C, por 72 horas, e os resultados expressos em g/vaso. A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi obtida pela soma da massa seca das folhas com a massa seca do colmo.

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos de aplicação de biorregulador influenciaram significativamente ($p < 0,05$) as características de crescimento e desenvolvimento inicial da variedade de cana-de-açúcar RB86-7515 (Tabela 1). Os resultados evidenciaram que a aplicação de biorregulador à base de hormônios vegetais (Stimulate®) no tratamento dos minirrebolos resultaram na melhora significativa da altura de planta, diâmetro do colmo, matéria seca de folhas, de caule e matéria seca da parte aérea quando comparado às plantas controle. Por sua vez, a aplicação combinada de Stimulate® no tratamento do minirrebolo e na aplicação foliar resultaram no maior número de folhas por planta. No entanto, a aplicação de Stimulate® no sulco de plantio e na aplicação foliar de forma isolada ou em combinação resultaram no desempenho inferior das plantas de cana-de-açúcar, com valores das características de crescimento próximos do tratamento controle.

A aplicação de biorregulador à base de extratos de alga e nutrientes (Seed+®) no tratamento do minirrebolo resultou na maior altura de planta, maior número de folhas por planta, maior potencial de perfilhamento e maior matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 1). De modo semelhante, a aplicação de Seed+® no tratamento do minirrebolo em combinação com aplicação foliar resultaram nos maiores valores de altura de planta e matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 1). Por sua vez, a aplicação de Seed+® no sulco do plantio e foliar de forma isolada ou em combinação resultaram no desempenho mediano das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 1).

Em geral, estes resultados evidenciaram que a aplicação de biorreguladores no tratamento do minirrebolo de forma isolada ou em combinação com a aplicação foliar foi capaz de melhorar as características agrônômicas das plantas de cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram reportados por Costa et al. (2011), os quais constataram que a aplicação de biorreguladores pode promover o equilíbrio hormonal e nutricional das plantas, favorecendo a expressão do seu potencial genético e estimulando o desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, a aplicação de biorregulador pode ajudar a planta a se

desenvolver mais rapidamente, reduzindo estresses abióticos e bióticos. A aplicação de biorreguladores no minirrebolo ou no transplântio das mudas de cana-de-açúcar tem como objetivo promover a melhoria no desenvolvimento do sistema radicular, uniformidade do estande de plantas, além do melhor aproveitamento dos nutrientes do solo (Marques-Júnior et al., 2008; Costa et al., 2011).

Tabela 1. Efeito do método de aplicação de biorregulador à base de hormônios vegetais (Stimulate®) ou de extratos de algas e nutrientes (Seed+®) na altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), número de perfilho (NP), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca da parte aérea da variedade de cana-de-açúcar RB86-7515 cultivada em solo arenoso do Cerrado Sul-Mato-grossense. UEMS/Cassilândia, 2025

Biorregulador	Método de aplicação	AP (cm)	DC (mm)	NF (unidade)	NP (unidade)	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)
Controle	-	82,3 c	17,6b	18,0 c	1,3 c	25,6 b	36,7 c	61,3 c
Stimulate®	Minirrebolo	88,3 b	19,4 a	22,0 b	1,7 b	29,3 a	46,4 b	75,7 b
	Sulco de Plantio	84,7 c	17,2 b	17,0 c	1,7 b	21,3 b	34,9 c	56,2 c
	Foliar	82,7 c	17,3 b	16,0 c	1,7 b	23,3 b	35,8 c	59,1 c
	Minirrebolo + Foliar	91,0 b	17,8 b	24,3 b	2,3 b	27,7 b	46,5 b	74,3 b
	Plantio + Foliar	86,7 b	17,4 b	16,3 c	1,7 b	21,9 b	33,6 c	55,4 d
Seed+®	Minirrebolo	98,3 a	17,9 b	29,0 a	3,0 a	32,4 a	55,3 a	87,8 a
	Sulco de Plantio	90,7 b	16,7 b	19,3 c	1,3 c	26,2 b	43,0 b	69,2 c
	Foliar	86,7 b	17,8 b	17,7 c	1,7 b	24,6 b	37,8 c	62,4 c
	Minirrebolo + Foliar	101,7 a	17,6 b	24,3 b	2,0 b	34,2 a	59,7 a	93,8 a
	Plantio + Foliar	93,3 b	18,7 a	19,3 c	2,0 b	31,9 a	46,9 b	78,8 b
CV (%)		7,81	8,37	5,19	6,85	9,24	8,83	9,33

Valores médios representados por letras diferentes nas colunas são estatisticamente diferentes pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Os métodos de aplicação de biorregulador à base de hormônios vegetais (Stimulate®) ou de extratos de algas e nutrientes (Seed+®) influenciaram significativamente ($p < 0,05$) as características de crescimento e desenvolvimento inicial da variedade de cana-de-açúcar CTC4 (Tabela 2). Os resultados evidenciaram que a aplicação combinada de biorregulador no tratamento do minirrebolo e foliar foram os métodos mais eficazes, especialmente por resultar em maior produção de matéria seca da parte aérea e número de folhas (Tabela 2).

A aplicação de Stimulate® no tratamento do minirrebolo resultou na melhora significativa da altura de planta, diâmetro do colmo, matéria seca de folhas, de caule e matéria seca da parte aérea quando comparado às plantas controle. Por sua vez, a aplicação combinada de Stimulate® no tratamento do minirrebolo e na aplicação foliar resultaram no maior número de folhas por planta. No entanto, os resultados evidenciaram que a aplicação de Stimulate® no sulco de plantio e na aplicação foliar de forma

isolada ou em combinação resultaram no desempenho inferior das plantas de cana-de-açúcar, com valores das características de crescimento próximos do tratamento controle.

Tabela 2. Efeito do método de aplicação de biorregulador à base de hormônios vegetais (Stimulate®) ou de extratos de algas e nutrientes (Seed+®) na altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), número de perfilho (NP), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de colmo (MSC) e matéria seca da parte aérea da variedade de cana-de-açúcar CTC4 cultivada em solo arenoso do Cerrado Sul-Mato-grossense. UEMS/Cassilândia, 2025

Biorregulador	Método aplicação	de AP (cm)	DC (mm)	NF (unidade)	NP (unidade)	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)
Controle	-	63,3 c	15,4 b	28,3b	2,0 b	21,9 b	23,0 b	44,9 c
Stimulate®	Minirrebolo	70,0 b	15,9 b	34,3 a	2,7 b	22,5 b	29,9 a	52,4 a
	Sulco de Plantio	53,3 d	14,2 c	35,7 a	3,0 a	21,5 b	21,7 b	43,2 c
	Foliar	68,7 b	15,2 b	39,3 a	3,7 a	24,4a	26,8 b	51,2 b
	Minirrebolo + Foliar	70,3 b	15,6 b	39,7 a	3,3 a	23,9 a	29,8 a	53,7 a
	Plantio + Foliar	60,7 c	15,4 b	24,3 b	2,0 b	19,3 b	24,2b	43,5 c
Seed+®	Minirrebolo	65,0 b	13,7 c	35,3 a	3,0 a	20,7 b	20,9 b	41,6 c
	Sulco de Plantio	66,7 b	16,2 b	34,0 a	3,0 a	21,4 b	29,9 a	51,3 b
	Foliar	65,0 b	14,9 c	35,7 a	3,0 a	19,3 b	24,8 b	44,1 c
	Minirrebolo + Foliar	77,7 a	17,6 a	30,3b	2,7 b	25,0 a	32,1 a	57,1 a
	Plantio + Foliar	69,7 b	15,4	34,0 a	3,7 a	28,0 a	31,4 a	59,4 a
CV (%)		9,23	7,54	6,62	8,53	9,18	8,73	9,27

Valores médios representados por letras diferentes nas colunas são estatisticamente diferentes pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

A aplicação de Seed+® no tratamento do minirrebolo resultou em desempenho mediano na produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 2). De modo semelhante, a aplicação de Seed+® no sulco de plantio resultou na maior produção de matéria seca de colmos e da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar. Por sua vez, a aplicação de biorregulador no tratamento do minirrebolo em combinação com aplicação foliar resultaram nos maiores valores de altura de planta, diâmetro do colmo e matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 2). Por sua vez, a aplicação de Seed+® no sulco do plantio e foliar de forma isolada ou em combinação resultaram no desempenho mediano das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 2).

CONCLUSÃO

O uso de biorregulador à base de extratos de algas e nutrientes (Seed+®), especialmente no tratamento do minirrebolo ou no minirrebolo combinada com aplicação foliar proporcionou o melhor desenvolvimento vegetativo das plantas de cana-de-açúcar.

O uso de biorregulador à base de hormônios vegetais (Stimulate®) também tem potencial de melhorar o desempenho vegetativo das plantas de cana-de-açúcar, mas com menor impacto quando comparado ao Seed+®.

Os métodos de aplicação isolada de biorregulador no sulco de plantio ou na aplicação foliar foram menos eficientes quando comparadas ao tratamento do minirrebolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brozeguini, V. G. Bioestimulantes no crescimento de colmos da cana de açúcar. 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.
- Civiero, J. C.; Fiori-Tutida, A. C.; Daros, E.; Alves, M. J.; Figueiredo, G. G. Crescimento inicial da cana-de-açúcar em função do tamanho do mini-rebolo e aplicação de bioestimulantes. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, v.9, n.1, p.07-15, 2016.
- Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- Costa, N.L., Daros, E.; Moraes, A. Utilização de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *PUBVET*, v.5, n.22, 2011.
- Dias, F. L. F; Tavares, S; Rossetto, R; Serciloto, C. M.; Bacilieri, F. S. Efeito residual de Bioestimulantes em soqueira de cana-de-açúcar após aplicação em sulco de plantio. *Revista Stab*, v.33, n.3, p.45-48, 2015.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- Ferreira, M. M. R.; Ferreira, L. H. Z.; Bolonhezi, A. C. Reguladores vegetais aplicados no sulco de plantio em cultivares de cana-de-açúcar. *Scientia Agraria*, v.14, p. 59-64, 2013.
- Ferreira, S. R.; Ferreira, M.; Teixeira, A. O.; Pereira, I. A.; Souza, M. T.; Moraes, M. D.; Lana, R. M. Q.; Moraes, E. M. Produtividade de cana-de-açúcar de segundo corte fertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.1, p.4594-4600, 2020.
- Gomes, F.B. Resposta do tratamento de minirrebolos de cana-de-açúcar com fungicidas e bioestimulante no desenvolvimento de mudas pré-brotadas (MPB). 2019. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- Hermann, E.R.; Câmara, G.M.S. Um Método Simples para Estimar a Área Foliar da Cana-de-Açúcar. *STAB*, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.
- Jacomassi, L.M.; Viveiros, J.O.; Oliveira, M.P.; Momesso, L.; Siqueira, G.F.; Crusciol, C.A.C. A Seaweed extract-based biostimulant mitigates drought stress in sugarcane. *Front. Plant Sci.* 13:865291, 2022.

- Kalayu, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. *International Journal of Agronomy*. 2019, e4917256, 2019.
- Lopes, I.; Silva, J. A. B.; Simões, W. L.; Barros, E. S. C.; Nascimento, F. M. F.; Amorim, M. N. Formas de aplicação de bioestimulante na produção da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 14, n. 1, p. 3823–3834, 2020.
- Marques-Júnior, R.B.; Canellas, L.P.; Silva, L.G.; Olivares, F.L. Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 32:1121-1128, 2008.
- Moraes, E. R.; Camargo, R.; Lana, R. M. Q.; Madeiros, M. H.; Menezes, F. G.; Giorgenon, E. P. Yield and biometry of fertilized sugar cane with organomineral fertilizer of sewage sludge and biostimulant. *Bioscience Journal*, v. 36, n. 5, p. 1564-1576, 2020.
- Oliveira, C. P.; Alvarez, R. C. F.; Lima, S. F.; Contardi, L. M. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar com o uso de condicionador de solo e bioestimulantes. *Agrarian*, v.6, n.21, p.245-251, 2013.
- Santos, F.; Borém, A. (Ed.). *Cana-de-açúcar: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013.
- Santos, G. A., Nicchio, B., Borges, M. A., Gualberto, C. A. C., Pereira, H. S.; Korndörfer, G. H. Effect of biostimulants on tilling, yield and quality component of sugarcane. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, 29907-29918, 2020.
- Silva, L. B.; Santos, C. M.; Andrade, J. J.; Lima, A. M. S.; Rego, A. E. B.; Oliveira, E. C. A.; Silva, L. H. A. Biostimulant for sugarcane ripening in drip fertigated fields. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 4, e279092, 2024.
- Silva, M. A.; Cato, S. C.; Costa, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. *Ciência Rural*, v. 40, n. 4, p. 774-780, 2010.
- Sousa, D. M. G.; Lobato, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- Ugena, L.; Hýlová, A.; Podlešáková, K.; Humplík, J.F.; Doležal, K.; Diego, N.; Spíchal, L. Characterization of Biostimulant Mode of Action Using Novel Multi-Trait High-Throughput Screening of Arabidopsis Germination and Rosette Growth. *Front. Plant Sci.* 9:1327, 2018.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A.; Brown, P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Front. Plant Sci.* 7:2049, 2017.

Adubação fosfatada residual e inoculação de *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar

Recebido em: 09/09/2025

Aceito em: 20/09/2025

 10.46420/9786585756679cap7

Pedro Barbosa Silva 

Letícia Nunes Guerche 

Myrella de Mello Domingues 

Gilciany Ribeiro Soares 

Jorge González Aguilera 

Fábio Steiner 

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais culturas bioenergéticas cultivadas no Brasil e em todas as regiões tropicais do mundo, especialmente devido ao seu uso na produção de biocombustíveis e seus derivados, além da produção de bioenergia por meio da combustão de sua biomassa (Huang et al., 2020). O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção de 619 milhões de toneladas de colmos na safra 2024/2025 (CONAB, 2025). No entanto, a produtividade média brasileira na safra 2024/2025 foi de apenas 70 Mg ha⁻¹, considerada baixa quando comparada ao potencial produtivo da cultura, que é superior a 200 Mg ha⁻¹ (Santos; Borém, 2013).

A baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos tropicais brasileiros tem sido apontada como um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento das lavouras de cana-de-açúcar e contribuem para a baixa produtividade de colmos no Brasil (Schiavo et al., 2018; Withers et al., 2018). O P é elemento essencial para a cultura da cana-de-açúcar, principalmente por participar de diversos processos metabólicos da planta, atuando no desenvolvimento radicular, perfilhamento, produtividade e qualidade dos colmos, entre outros (Schiavo et al., 2018; Silva et al., 2018; Lizcano-Toledo et al., 2021). Apesar de a maioria dos solos tropicais possuírem grandes reservas de P total (50 a 1.800 mg kg⁻¹ de P), apenas pequena porção, em torno de 1%, está prontamente disponível às plantas (Pavinato et al., 2021). Essa baixa disponibilidade de P nos solos tropicais (P-lábil) é causada pela alta reatividade e alta taxa de adsorção de P aos constituintes minerais do solo, especialmente aos (oxi)hidróxidos de ferro e alumínio (Lizcano-Toledo et al., 2021; Soares et al., 2021).

Portanto, neste cenário agrícola, altas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas nos solos tropicais com o intuito de promover o adequado desenvolvimento das plantas e a obtenção de alta produtividade de colmos, o que tem aumentado os custos de produção das lavouras de cana-de-açúcar (Simões-Neto et al., 2015; Soltangheisi et al., 2019; Soares et al., 2021; Rein et al., 2021). Contudo, a maior proporção do P aplicado com os fertilizantes fosfatados pode ser retida pelos constituintes minerais do

solo, formando a fração de P indisponível no solo (P não-lábil) (Nunes et al., 2020; Johan et al., 2021). Neste contexto, o reaproveitamento da fração de P-não lábil do solo tem sido tema de discussão em diversas partes do mundo, com ênfase na produção agrícola brasileira (Withers et al., 2018; Silva et al., 2023).

Dentre as estratégias agronômicas que podem ser utilizadas para melhorar a absorção da fração de P não-lábil do solo ou do P residual dos fertilizantes fosfatados, a utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato tem se destacado na última década. Esses microrganismos podem promover o crescimento das plantas de cana-de-açúcar por meio de sua capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis do solo (Santos et al., 2018; Gonçalves et al., 2020; Reis et al., 2020; Rosa et al., 2020; Silva et al., 2023), e seu uso na agricultura representa uma opção biotecnológica sustentável para reduzir a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados nas lavouras de cana-de-açúcar, o que pode reduzir os custos de produção e minimizar o impacto ambiental (Rosa et al., 2020; Silva et al., 2021; Silva et al., 2023). Portanto, o uso de microrganismos solubilizadores de fosfato pode melhorar a eficiência do uso de P no solo e consiste em uma estratégia promissora para melhorar a nutrição fosfatada dos canaviais.

Dentre os principais microrganismos solubilizadores de fosfato utilizados nas regiões tropicais do Brasil, destacam-se as bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* e *Rhizobium* (Gírio et al., 2015; Gonçalves et al., 2020; Rosa et al., 2020; Reis et al., 2020; Silva et al., 2023; Ibanhes-Neto, 2023). A solubilização do P por essas bactérias é um processo complexo, que depende de muitos fatores relacionados à interação microrganismo-solo-planta. Porém, entre os principais mecanismos associados à capacidade de solubilização de fosfato dessas bactérias estão a excreção de ácidos orgânicos e a produção de sideróforos (Sharma et al., 2013; Kumar et al., 2018; Kalayu, 2019). A excreção de ácidos orgânicos no solo, tais como ácido málico, oxálico e glutâmico, pode complexar o Al^{3+} (íon acompanhante) do fosfato de alumínio ($AlPO_4$), liberando o íon fosfato (PO_4^{3-}) na solução do solo, enquanto os sideróforos são agentes quelantes com alta afinidade por metais como alumínio (Al^{3+}) e ferro (Fe^{2+}) presentes nos óxidos insolúveis de Al e Fe no solo (Sharma et al., 2013).

As bactérias pertencentes aos gêneros *Azospirillum* sp. e *Bacillus* sp. são os principais grupos de microrganismos utilizados para a inoculação de ampla gama de espécies gramíneas, incluindo a cultura de cana-de-açúcar. *Azospirillum brasilense* e *A. amazonense* (Syn. *Nitrospirillum amazonense*) são espécies de bactérias diazotróficas que promovem o crescimento vegetal por meio da fixação de nitrogênio atmosférico, solubilização de fosfatos inorgânicos e capacidade de sintetizar hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas e citocininas (Fukami et al., 2018). *Bacillus megaterium* e *B. subtilis* são espécies de bactérias promotoras de crescimento vegetal capazes de solubilizar fosfato por meio da produção de ácidos orgânicos, transformando o P não lábil do solo em frações assimiláveis pelas plantas (Hashem et al., 2019; Huang et al., 2019; Rodrigues et al., 2023).

Alguns estudos têm comprovado a eficácia da inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum* sp. e *Bacillus* sp. na cultura de cana-de-açúcar, resultando em maior desenvolvimento de plantas e

produtividade de colmos (Santos et al., 2018; Moura et al., 2019; Gonçalves et al., 2020; Rodrigues et al., 2023; Silva et al., 2023). A inoculação de *A. brasilense* em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar resultou em maior desenvolvimento das plantas quando associada à aplicação de fertilizantes minerais (Gonçalves et al., 2020). Gírio et al. (2015), relataram que a inoculação com *A. amazonense*, *Burkholderia tropica*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Gluconacetobacter diazotrophicus* melhorou a brotação e o crescimento inicial das plantas de cana-de-açúcar. Rodrigues et al. (2023) relataram que a inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* melhorou o perfilhamento e a produção de biomassa da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, em resposta ao aumento na solubilização de P no solo e maior absorção de P. Silva et al. (2023) mostraram que a inoculação de *Bacillus* sp. e *Rhizobium* sp. em associação ao uso de adubo orgânico resultou em maior produtividade de colmos e maiores ganhos econômicos no cultivo da cana-de-açúcar. Entretanto, os efeitos da inoculação das mudas pré-brotadas com *Azospirillum* sp. e *Bacillus* sp. em solos tropicais com diferente disponibilidade de P oriunda do efeito da adubação fosfatada residual ainda permanecem desconhecidos.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada residual e da inoculação das mudas pré-brotadas com bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) no crescimento e desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivadas em um Latossolo de textura média da região do Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, na estação experimental agrônômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia-MS (19°06'48" S; 51°44'03" W e altitude de 510 m) durante o período de agosto de 2024 a julho de 2025.

Foram utilizadas amostras de solo coletadas na camada de 0 a 30 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura média (240 g kg⁻¹ de argila, 60 g kg⁻¹ de silte e 700 g kg⁻¹ de areia). Amostras de solo foram coletadas em uma área de experimento de campo com o sistema de sucessão soja-sorgo, em que as parcelas experimentais são adubadas anualmente com doses de 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, nos últimos 6 anos. Para o experimento de casa de vegetação, amostras representativas de solo foram coletadas de cada uma das quatro repetições do experimento de campo. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, e passado em peneira de malha de 2,0 mm e submetido a análise química. As propriedades químicas do solo foram determinadas adotando-se os procedimentos padrão recomendados por Teixeira et al. (2017), e os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas do solo coletado em um experimento de campo com fertilização fosfatada residual e utilizado neste experimento

Adubação fosfatada residual	pH	MO	P _{Mehlich-1}	H+A 1	Ca	Mg	K	CTC	V	Nível de P do solo [†]
kg/ha/ano de P ₂ O ₅		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----		cmol _c dm ⁻³	-----		%	
30	5,7	21	6,2	3,42	3,84	1,12	0,25	8,63	60	Baixo
60	5,6	23	13,8	3,18	3,68	1,10	0,26	8,22	60	Médio
120	5,6	22	21,3	3,24	3,75	1,12	0,24	8,35	61	Alto

pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol/L. MO: matéria orgânica. CTC: capacidade de troca catiônica. V: saturação por bases do solo. [†]Classe de interpretação de disponibilidade de P do solo extraído por Mehlich-1 para solos de textura média da região do Cerrado (Sousa & Lobato, 2004).

O solo foi fertilizado com 80 mg/dm³ de N (ureia), 150 mg/dm³ de K (cloreto de potássio), 15 mg/dm³ de S (gesso agrícola), 5 mg/dm³ de Cu (sulfato de cobre), 5 mg/dm³ de Zn (sulfato de zinco), 1 mg/dm³ de Mo (molibdato de amônio) e 2 mg/dm³ de B (bórax), então o solo foi acondicionado em vasos plásticos de 15 dm³ de capacidade e submetido ao cultivo de cana-de-açúcar por 120 dias aproximadamente. Os fertilizantes foram incorporados em todo o volume de solo dos vasos dois dias antes do transplante das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Cada vaso plástico foi preenchido com 18 kg ($\pm$ 14 dm³) de solo seco ao ar, peneirado em malha de 5,0 mm. Aos 30 e 60 dias após o transplante das mudas de cana-de-açúcar, 50 mg/dm³ de N também foram aplicados usando ureia (45% de N) previamente diluída em água pura.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 3 $\times$ 3, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelo uso de mudas não inoculadas com bactérias solubilizadoras de fosfato e pelo uso de mudas inoculadas com *Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp. O segundo fator foi constituído pelos três níveis de disponibilidade de P do solo oriundos da adubação fosfatada residual: nível baixo (30 kg/ha de P₂O₅), médio (60 kg/ha de P₂O₅) e alto (120 kg/ha de P₂O₅). Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 15 dm³, perfazendo um total de 36 vasos.

O plantio das mudas de cana-de-açúcar para os vasos plásticos foi realizado em outubro de 2024, utilizando-se mudas da variedade RB86-7515 com aproximadamente 28 dias de idade. As mudas foram produzidas a partir de minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas), de 3,0 cm de comprimento, os quais foram acondicionados em bandejas plásticas (44 $\times$ 30 $\times$ 7,5 cm), preenchidas com o substrato comercial Carolina Soil[®].

A inoculação das mudas pré-brotadas com *Bacillus* sp. foi realizada com o inoculante líquido comercial BiomaPhos[®], contendo as estirpes BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BMF 2484 (*Bacillus subtilis*) nas concentrações mínimas de 4 $\times$ 10⁹ unidades formadoras de colônia (UFC) por mL de produto, na dosagem de 3,0 mL de inoculante por muda pré-brotada. A inoculação com *Azospirillum* sp. foi realizada com uma mistura do inoculante AzoKop[®] contendo as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*,

com concentração mínima de $1,8 \times 10^8$ UFC por mL, e o inoculante Aprinza® contendo a estirpe BR11145 de *Azospirillum amazonense* (Syn. *Nitrospirillum amazonense*), com concentração mínima de $1,0 \times 10^8$ UFC por mL, ambos os inoculantes serão aplicados na dosagem de 2,0 mL de inoculante por muda pré-brotada. Os inoculantes foram aplicados sobre as raízes no momento do transplante das mudas pré-brotadas para os vasos, utilizando-se uma pipeta graduada em mililitros.

Aos 120 dias após o transplantio das mudas, as plantas de cana-de-açúcar foram retiradas dos vasos, lavando-se as raízes em água corrente sobre peneiras com malha de 1 mm, para remoção do solo. Foram avaliadas as seguintes características morfológicas: número de perfilhos, altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes e o teor de P nas folhas de cana-de-açúcar.

A altura da planta (AP), em centímetros, foi determinada a partir do nível do solo até a inserção da última folha do colmo principal com auxílio de régua milimetrada. O diâmetro do colmo (DC), em milímetros, foi mensurado na parte central do primeiro entrenó do colmo principal das plantas, utilizando um paquímetro digital. O sistema radicular e a parte aérea das plantas foram separados, secados em estufa a 65 °C até massa constante e, em seguida, foram feitas medições do peso em balança analítica para determinação da massa seca das raízes (MSR) e da massa seca da parte aérea (MSPA), sendo os resultados expressos em gramas/planta. A massa seca total foi obtida pela soma da MSR e da MSPA. Também foram efetuadas amostragens de folhas para avaliar o teor de P nas folhas de cana-de-açúcar. As folhas coletadas foram lavadas em água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C por 72 h e, posteriormente, moídas. As amostras foram submetidas à determinação do teor de P pela digestão nitroperclórica (EMBRAPA, 2009).

Os resultados foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos efeitos da fertilização fosfatada residual e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato, foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de confiança de 5%. As análises foram realizadas no software Sisvar® (versão 5.9) para Windows (Statistical Analysis Software, UFLA, Lavras, MG, BRA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância relatou efeito significativos ($p \leq 0,05$) da interação entre níveis residuais de P e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) para a maioria das características morfológicas e índices de eficiência de uso de P em plantas de cana-de-açúcar, exceto para diâmetro do colmo (DP), concentração de P na planta (P) e eficiência de utilização de P (PUtE) (Tabela 2). A interação significativa entre esses fatores indica que plantas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp. apresentam respostas distintas à disponibilidade residual de P no solo quando comparadas às plantas não inoculadas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os efeitos do nível de adubação fosfatada residual e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) nas características morfológicas e teor de P de plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., var. RB867515) cultivadas em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média.

Fontes de variação	Probabilidade > F							
	AP	DC	NP	AF	MSPA	MSR	MST	P
Bloco	0,128	0,215	0,098	0,413	0,214	0,384	0,296	0,645
P residual (P)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,041
Inoculação (I)	0,001	0,006	0,001	0,001	0,012	0,001	0,001	0,043
Interação P × I	0,004	0,128	0,008	0,025	0,035	0,044	0,047	0,085
CV (%)	8,78	7,31	12,83	5,84	10,79	14,82	10,05	9,14

AP: altura da planta; DC: diâmetro do colmo; NP: número de perfilhos; AF: área foliar; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca da raiz; MST: matéria seca total. P: concentração de fósforo nas folhas.

Os níveis de disponibilidade residual de P e a inoculação de *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. afetaram significativamente ($p \leq 0,05$) a altura da planta, o diâmetro do colmo, o número de perfilhos e a área foliar das plantas de cana-de-açúcar (Figura 1). O aumento na disponibilidade residual de P no solo resultou em maior crescimento da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, especialmente altura da planta, número de perfilhos e área foliar (Figura 1). Sob baixa disponibilidade residual de P, a altura da planta foi significativamente maior nas plantas inoculadas com *Bacillus* sp., seguidas pelas plantas inoculadas com *Azospirillum* sp., e significativamente menor nas plantas não inoculadas (Figura 1A).

Os resultados mostraram que o aumento da disponibilidade residual de P no solo melhorou o crescimento (parte aérea e raízes), o acúmulo de fósforo nas plantas e a eficiência fisiológica do uso de P em plantas de cana-de-açúcar. Plantas cultivadas sob alta disponibilidade residual de P tiveram um aumento médio na altura da planta (43%), número de perfilhos (176%), área foliar (180%), matéria seca da parte aérea (185%), matéria seca da raiz (188%), acúmulo de P na planta (221%) e eficiência fisiológica do uso de P (158%) quando comparadas a plantas sob baixa disponibilidade residual de P no solo (Figuras 1, 2, 3 e 4). Esses resultados demonstram a importância do fornecimento adequado de fósforo para o desenvolvimento inicial e o metabolismo de plantas de cana-de-açúcar em solos tropicais brasileiros. O maior crescimento e desenvolvimento das plantas sob alta disponibilidade residual de P no solo reflete a maior concentração inicial de P disponível no solo ($21,3 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$) quando comparada à concentração inicial de P disponível no tratamento sob baixa disponibilidade residual de P ($6,2 \text{ mg dm}^{-3} \text{ P}$) (Tabela 1). Portanto, a baixa disponibilidade de P em solos tropicais, causada pela alta capacidade de adsorção de íons fosfato (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}) aos colóides do solo, especialmente aos óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) associados às argilas 1:1 (caulinita) e 2:1 (montmorilonita) (Lizcano-Toledo et al. 2021; Soares et al. 2021), tem sido um fator limitante para o desenvolvimento do colmo e a produtividade na cultura da cana-de-açúcar (Schiavo et al. 2018; Withers et al. 2018; Rodrigues et al. 2023).

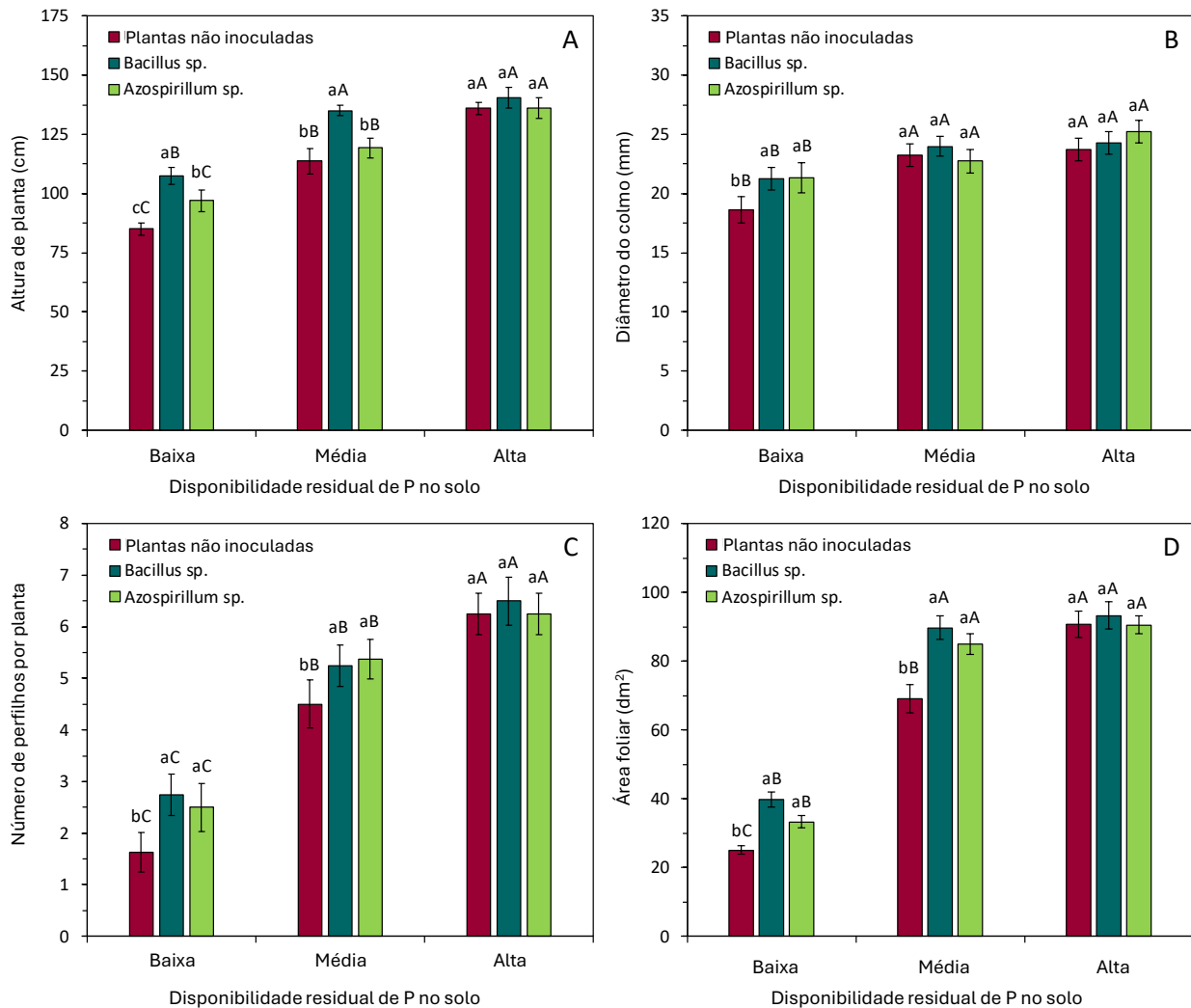


Figura 1. Efeito do nível de P residual do solo e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) na altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), número de perfilhos por planta (C) e área foliar (D) das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., var. RB867515) cultivadas em um Latossolo Vermelho distrófico. Barras seguidas por letras minúsculas distintas para a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato e letras maiúsculas distintas para os níveis de P residual do solo mostram diferenças significativas (teste de Tukey; $p < 0,05$). Os dados referem-se a valores médios ($n = 4$) $\pm$ desvio padrão da média.

Quando as plantas foram inoculadas com *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. houve um aumento de 23 cm (27%) e 12 cm (14%) na altura da planta em comparação com as plantas não inoculadas, respectivamente. Sob média disponibilidade residual de P, a altura da planta foi significativamente maior nas plantas inoculadas com *Bacillus* sp., e significativamente menor nas plantas inoculadas com *Azospirillum* sp. ou plantas não inoculadas (Figura 1A). A inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato sob alta disponibilidade residual de P não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) nas características morfológicas da parte aérea de plantas de cana-de-açúcar (Figura 1).

O diâmetro do colmo sob baixa disponibilidade residual de P foi significativamente maior em plantas inoculadas com *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. em comparação às plantas não inoculadas. Entretanto, sob média ou alta disponibilidade residual de P, a inoculação de bactérias solubilizadoras de

fosfato não alterou o diâmetro do colmo das plantas de cana-de-açúcar (Figura 1B). Sob baixa ou média disponibilidade residual de P, o número de perfilhos e a área foliar foram significativamente maiores em plantas inoculadas com *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. em comparação às plantas não inoculadas (Figura 1C e 1D). Esses resultados mostram que a inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato melhorou o crescimento inicial das plantas de cana-de-açúcar sob baixa e média disponibilidade residual de P.

Altura da planta (Figura 1A), número de perfilhos (Figura 1C), área foliar (Figura 1D), matéria seca da parte aérea (Figura 2A) e matéria seca da raiz (Figura 2B) foram as características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar mais impactadas pelos níveis de disponibilidade residual de P no solo. Rodrigues et al. (2023) relataram maiores aumentos na altura da planta, número de perfilhos, área foliar e matéria seca da parte aérea e raiz de plantas de cana-de-açúcar fertilizadas com altos níveis de P. O fósforo desempenha um papel importante no crescimento e metabolismo fisiológico da planta de cana-de-açúcar, atuando nos processos de fotossíntese, respiração, transdução de sinal, perfilhamento da planta, desenvolvimento da raiz e absorção de água (Zhang et al. 2018; Jiaying et al. 2022; Khan et al. 2023). O fósforo também é um componente estrutural de muitas biomoléculas, incluindo fosfolipídios, ácidos nucleicos e trifosfato de adenosina (ATP), que orientam o desenvolvimento da planta e a síntese de proteínas (Jiaying et al. 2022). Portanto, a deficiência de P resulta em retardo no crescimento da cana-de-açúcar, as plantas jovens são anãs e finas, com área foliar reduzida, e o potencial de perfilhamento da planta é drasticamente inibido, como observado no presente estudo.

Os níveis de disponibilidade residual de P e a inoculação de *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. afetaram significativamente ($p \leq 0,05$) o acúmulo de matéria seca da parte aérea, das raízes e matéria seca total, bem como a concentração foliar de P das plantas de cana-de-açúcar (Figura 2). O aumento da disponibilidade residual de P no solo resultou em maior acúmulo de matéria seca da parte aérea, raiz e total nas plantas de cana-de-açúcar (Figura 2A, 2B e 2C).

Sob baixa ou média disponibilidade residual de P, o acúmulo de matéria seca na parte aérea, na raiz e no total foi significativamente maior em plantas inoculadas com *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp., quando comparadas às plantas não inoculadas (Figura 2A, 2B e 2C). Sob alta disponibilidade residual de P, a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) no acúmulo de matéria seca na parte aérea de plantas de cana-de-açúcar (Figura 2A).

A matéria seca das raízes sob alta disponibilidade residual de P foi significativamente maior em plantas inoculadas com *Azospirillum* sp., seguida pelas plantas inoculadas com *Bacillus* sp., e significativamente menor nas plantas não inoculadas (Figura 2B). O acúmulo de matéria seca total sob alta disponibilidade residual de P foi significativamente maior em plantas inoculadas com *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp., em comparação às plantas não inoculadas (Figura 2D).

A média e a alta disponibilidade residual de P resultaram em maior concentração de P nas plantas de cana-de-açúcar em comparação às plantas não inoculadas, exceto quando as plantas foram inoculadas com *Bacillus* sp. (Figura 2D). Sob alta disponibilidade residual de P, a inoculação de bactérias

solubilizadoras de fosfato não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) no acúmulo de P nas plantas de cana-de-açúcar (Figura 3B).

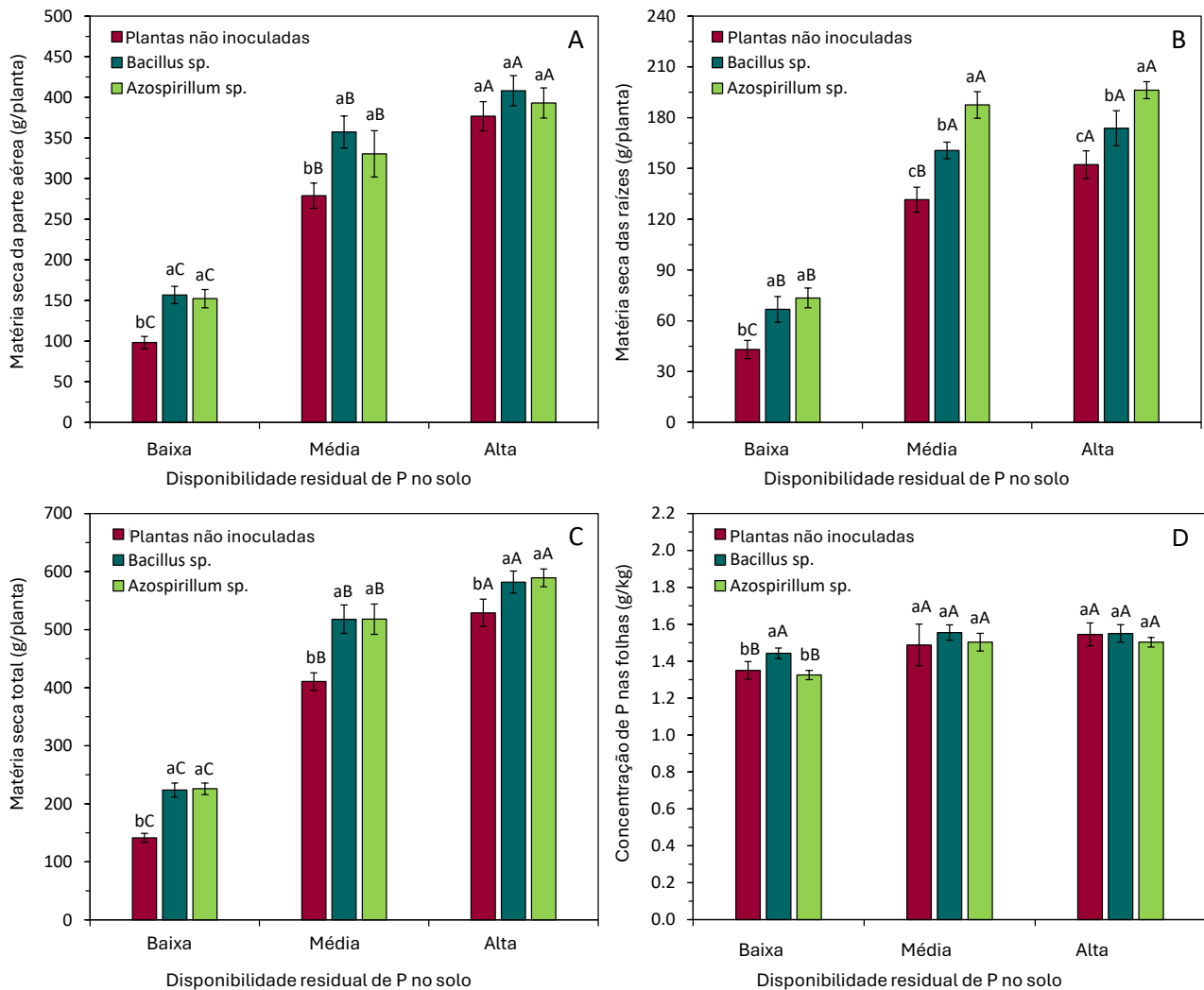


Figura 2. Efeito do nível de P residual do solo e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) na matéria seca da parte aérea (A), matéria seca das raízes (B), matéria seca total (C) e concentração de P nas folhas (D) das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., var. RB867515) cultivadas em um Latossolo Vermelho distrófico. Barras seguidas por letras minúsculas distintas para a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato e letras maiúsculas distintas para os níveis de P residual do solo mostram diferenças significativas (teste de Tukey; $p < 0,05$). Os dados referem-se a valores médios ($n = 4$) $\pm$ desvio padrão da média.

O maior crescimento inicial de plantas de cana-de-açúcar sob baixa ou média disponibilidade residual de P foi dependente da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (Figuras 1 e 2). Outros estudos também comprovaram a eficácia da inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum* sp. e *Bacillus* sp. em culturas de cana-de-açúcar, resultando em maior desenvolvimento e produtividade de colmos (Santos et al. 2018; Moura et al. 2019; Gonçalves et al. 2020; Rodrigues et al. 2023).

Gírio et al. (2015) relataram que a co-inoculação com *A. amazonense*, *Burkholderia tropica*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Gluconacetobacter diazotrophicus* melhorou a brotação e o crescimento de raízes e brotos de plantas de cana-de-açúcar. Santos et al. (2018) demonstraram que a aplicação de *B. pumilus*

aumentou a matéria seca total (13%), o número de perfilhos (37%), o diâmetro do colmo (48%) e o crescimento radicular (23%) quando associada à fertilização mineral. Costa et al. (2020) constataram que a inoculação com *A. brasilense* resultou em aumento na altura da planta, na matéria seca da parte aérea, na matéria seca da raiz e na qualidade das mudas das variedades de cana-de-açúcar IACSP95-5000, RB855035 e RB867515. Rodrigues et al. (2023) relataram que a inoculação com *B. megaterium* e *B. subtilis* melhorou o perfilhamento e o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, indicando aumento na solubilização de P e/ou aumento na absorção de P do solo. Portanto, esses resultados ressaltam a importância da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato, especialmente *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp., para melhorar a disponibilidade de P no solo e aumentar o desenvolvimento inicial das plantas de cana-de-açúcar.

O potencial de utilização de bactérias capazes de solubilizar íons fosfato de frações não disponíveis no solo (P não lábil) e estimular o crescimento vegetal está principalmente associado aos seus mecanismos de excreção de ácidos orgânicos e produção de sideróforos (Sharma et al. 2013; Kumar et al. 2018; Kalayu, 2019). De fato, estudos de Velloso et al. (2020) e Silva et al. (2023) mostraram que algumas espécies de *Bacillus*, incluindo *B. megaterium*, *B. subtilis* e *B. cereus*, têm a capacidade de solubilizar fosfato (via liberação de ácido orgânico e inorgânico e extrusão de prótons), mineralizar fosfato (via produção de fosfatase) e produzir agentes quelantes com alta afinidade pelos metais alumínio (Al^{3+}) e ferro (Fe^{2+}) presentes em óxidos insolúveis de Al e Fe em solos tropicais (via produção de sideróforos). Da mesma forma, Oliveira-Paiva et al. (2024) relataram que *B. megaterium* B119 e *B. subtilis* B2084 exibiram propriedades promotoras do crescimento vegetal relevantes para melhorar a dinâmica do P do solo, incluindo solubilização e mineralização de fosfato, produção de moléculas semelhantes ao ácido indol-3-acético (AIA), sideróforos, exopolissacarídeos (EPS), biofilmes e fosfatases. Por sua vez, espécies de *Azospirillum*, incluindo *A. brasilense* e *A. amazonense*, podem estimular o desenvolvimento vegetal por meio de vários mecanismos biológicos, incluindo fixação biológica de nitrogênio (Gonçalves et al. 2020), síntese de hormônios vegetais (Fukami et al. 2018), solubilização de fosfato (Turan et al. 2012) e indução de tolerância a estresses abióticos e bióticos (Fukami et al. 2018; Silva et al. 2019).

Além disso, o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas de cana-de-açúcar, evidenciado pelo maior acúmulo de matéria seca da raiz (Figura 2B) e pela maior relação raiz:matéria seca da parte aérea (Figura 2D) com a inoculação de *Azospirillum* sp. sob média e alta disponibilidade residual de P no solo, pode estar associado à capacidade de algumas espécies de *Azospirillum*, especialmente *A. brasilense*, de produzir e secretar hormônios vegetais, como a auxina, na rizosfera. De fato, Fukami et al. (2018) mostraram que as linhagens de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 têm alta capacidade de sintetizar ácido indol-3-acético - AIA (uma auxina), ácido giberélico (GA3) e ácido salicílico (AS). A produção desses hormônios vegetais, especialmente o AIA, na região da rizosfera estimula a atividade meristemática e promove o alongamento e o desenvolvimento de raízes laterais (Santos et al. 2021). Por sua vez, o maior

desenvolvimento do sistema radicular permite que a planta absorva mais água e nutrientes, favorecendo seu desenvolvimento e produtividade (Gonçalves et al. 2020; Costa et al. 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em solos tropicais com baixa ou média disponibilidade residual de P, a inoculação de *Bacillus* sp. e *Azospirillum* sp. pode ser uma prática agrícola sustentável a ser recomendada para o cultivo de cana-de-açúcar, especialmente por melhorar o desenvolvimento das plantas, a aquisição e a eficiência do uso de P, o que reduz os custos associados à fertilização com fósforo mineral, uma fonte de fertilizante não renovável.

A eficiência e o potencial de solubilização/mineralização de fosfato das linhagens de *Bacillus* sp. (BRM 119 e BMF 2484) e *Azospirillum* sp. (Ab-V5, Ab-V6 e BR11145) é reduzida quando essas bactérias são aplicadas em solos tropicais com alta concentração de P disponível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- Fukami, J.; Cerezini, P.; Hungria, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, London, v. 8, n. 73, p.1-12, 2018.
- Gírio, L. A. S.; Dias, F. L. F.; Reis, V. M.; Urquiaga, S.; Schultz, N.; Bolonhezi, D.; Mutton, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.
- Gonçalves, M. C.; Silva, K. C.; Oliveira, C. E. S.; Steiner, F. Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, v. 16, n.2, 2020, p. 72-81, 2020.
- Hashem, A.; Tabassum, B.; Abd-Allah, E. F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi J. Biol. Sci.*, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004.
- Huang, F. L.; Zhang, Y.; Zhang, L. P.; Wang, S.; Feng, Y.; Rong, N. H. Complete genome sequence of *Bacillus megaterium* JX285 isolated from *Camellia oleifera* rhizosphere. *Comput. Biol. Chem.*, v. 79, p. 1-5, 2019.
- Huang, J.; Khan, M. T.; Perecin, D.; Coelho, S. T.; Zhang, M. Sugarcane for bioethanol production: Potential of bagasse in Chinese perspective. *Renewable Sustainable Energy Ver.*, v. 133, p. 110296, 2020.

- Ibanhes-Neto, H. F.; Freiria, G. H.; Silva, A. C.; Ponce, R. M.; Takahashi, L. S. A. Produção de feijão vagem oriunda de sementes tratadas com *Bacillus subtilis*. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 53, p. e76324, 2023.
- Johan, P.D.; Ahmed, O.H.; Omar, L.; Hasbullah, N.A. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. Agronomy. v. 11, n. 10, e2010, 2021.
- Kalayu, G. (2019). Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. International Journal of Agronomy. 2019, e4917256, 2019.
- Kumar, A.; Kumar, A.; Patel, H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, v. 7, n. 5, p. 1344–1347, 2018.
- Lizcano-Toledo, R.; Reyes-Martín, M. P.; Celi, L.; Fernández-Ondoño, E. Phosphorus dynamics in the soil-plant-environment relationship in cropping systems: A Review. Appl. Sci., v. 11, n. 23, p. 11133, 2021.
- Moura, J. B. et al. Influence of nitrogen fixing bacteria in the establishment of pre-broken sugar cane. Asian J. Microbiol. Biotech. Environ. Scie., v.21, n.1, p.22-26, 2019.
- Nunes, R. S.; Sousa, D. M. G.; Goedert, W. J.; Oliveira, L. E. Z.; Pavinato, P. S.; Pinheiro, T. D. Distribution of soil phosphorus fractions as a function of long-term soil tillage and phosphate fertilization management. Frontiers in Earth Science, v. 8, e350, 2020.
- Pavinato, P. S.; Rocha, G. C.; Cherubin, M. R.; Harris, I.; Jones, D. L.; Withers, P. J. A. Map of total phosphorus content in native soils of Brazil. Scientia Agricola, v. 78, n. 6, e20200077, 2021.
- Rein, T. A.; Santos-Junior, J. D. G.; Sousa, D. M. G.; Carvalho, W. P.; Lemes, G. C. Corrective and maintenance phosphorus fertilization on sugarcane yield in Oxisols. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 56, e02160, 2021.
- Reis, V. M.; Rios, F. A.; Braz, G. B. P.; Constantin, J.; Hirata, E. S.; Biffe, D. F. Agronomic performance of sugarcane inoculated with *Nitrospirillum amazonense* (BR11145). Rev. Caatinga, v. 33, n. 4, p. 918-926, 2020.
- Rodrigues, D.H.S.; Abes, S.S.; Steiner, F.; Viana, R.S.; Alves, R.S. Uso de bactérias solubilizadoras de fosfato para potencializar o crescimento de variedades de cana-de-açúcar. Ensaio e Ciências. v.27, n. 3, p. 1-7, 2023.
- Rosa, P. A. L.; Mortinho, E. S.; Jalal, A.; Galindo, F. S.; Buzetti, S.; Fernandes, G. C.; Barco Neto, M.; Pavinato, P. S.; Teixeira Filho, M. C. M. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. Front. Environ. Sci., v. 8, e32, p. 1-18, 2020.
- Santos, F.; Borém, A. (Ed.). Cana-de-açúcar: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

- Santos, R. M.; Kandasamy, S.; Rigobelo, E. C. Sugarcane growth and nutrition levels are differentially affected by the application of PGPR and cane waste. *Microbiology Open*, v. 7, n. 6, p. e00617, 2018.
- Schiavo, J. A.; Azevedo, L. S.; Lima, M. F.; Oliveira, N. S.; Lopes, V. R. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. *Rev. Ciênc. Agrár.*, v. 41, n. 2, p. 398-407, 2018.
- Sharma, S.B.; Sayyed, R.Z.; Trivedi, M.H.; Gobi, T.A. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, v. 2, p. 1-14, 2013.
- Silva, A. M. M.; Pimenta, L. S.; Qi, X.; Cardoso, E. J. B. N. Economic gains using organic P source and inoculation with P-solubilizing bacteria in sugarcane. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 101-107, 2023.
- Silva, J. C.; Santos, L. D. S.; Faria, P. S. A.; Silva, F. G.; Rubio Neto, A.; Martins, P. F.; Selari, P. J. R. G. Multifunctional characteristics of *Acinetobacter lwoffii* Bac109 for growth promotion and colonization in micropropagated sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 51, p. e69373, 2021.
- Silva, V.S.G.; Oliveira, M.W.; Ferreira, V.M. et al. Nutritional requirement of sugarcane cultivars. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, p. 361-369, 2018.
- Simões-Neto, D. E.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Freire, M. B. G. S.; Oliveira, E. C. A.; Rocha, A. T. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 1, p. 73-81, 2015.
- Soares, A. A. V. L.; Prado, R. M.; Caione, G.; Rodrigues, M.; Pavinato, P. S.; Campos, C. N. S. Phosphorus dynamics in sugarcane fertilized with filter cake and mineral phosphate sources. *Front. Soil Sci.*, v. 1, e719651, 2021.
- Soltangheisi, A.; Withers, P. J. A.; Pavinato, P. S.; Cherubin, M. R.; Rossetto, R.; Carmo, J. B.; Rocha, G. C.; Martinelli, L. A. Improving phosphorus sustainability of sugarcane production in Brazil. *Glob Change Biol Bioenergy*, v. 11, n. 12, p. 1444-1455, 2019.
- Sousa, D. M. G.; Lobato, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- Withers, P.J.A.; Rodrigues, M.; Soltangheisi, A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, v. 8, p. 1-13, 2018.

Índice Remissivo

A

agronegócio, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 25
amendoim, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48
Arachis hypogaea L, 41, 43
areia, 53, 54
Azospirillum, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82

B

Bacillus, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82
aryabhattai, 41, 42, 43, 44, 47, 48
bioestimulante, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48
bioinsumos, 60
biorregulador, 68, 69

C

casa de vegetação, 52, 53, 54
cerrado, 65, 68, 69

D

desenvolvimento
inicial, 63
residual, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82

E

eficiência do uso, 73, 82

F

ferramentas moleculares, 29
fungos patogênicos, 29

G

grãos, 7, 9, 10, 11

H

hospedeiros florestais, 3

I

inovação, 19
internet, 15, 16, 18, 20, 21, 22, 23

P

plântulas, 51, 54, 57, 58
precisão, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
produção, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

S

Saccharum, 63, 65
soja, 6, 7, 8, 9, 10, 12
solos, 72, 74, 75, 77, 81, 82

T

tecnologia, 6, 11, 15, 19

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 272 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 153 resumos simples/expandidos, 97 organizações de e-books, 53 capítulos de e-

books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato

Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 180 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 67 organizações de e-books, 46 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agronômica. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência

Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica, Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br



Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais - Volume VIII é uma obra elementar que apresenta algumas recentes descobertas e aplicações científicas para o agronegócio sustentável. O livro compila estudos que visam aumentar a **eficiência** e a **produtividade** agrícola, explorando o potencial de tecnologias como a **agricultura de precisão** e as ferramentas digitais na otimização de culturas como a soja. Aborda também o manejo avançado de **bioinsumos** e biorreguladores para culturas estratégicas como a cana-de-açúcar, e a aplicação de métodos **moleculares** no diagnóstico de doenças florestais. Com foco em soluções inovadoras e práticas de **manejo sustentável** de nutrientes, este volume proporciona conhecimentos importantes para quem busca estudos de ponta para enfrentar os desafios ambientais e econômicos da agricultura moderna.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br