

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

158

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 aryabhattai</i> no desenvolvimento de <i>Arachis hypogaea</i> L.	41
Capítulo 5	50
<i>Bacillus aryabhattai</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

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).

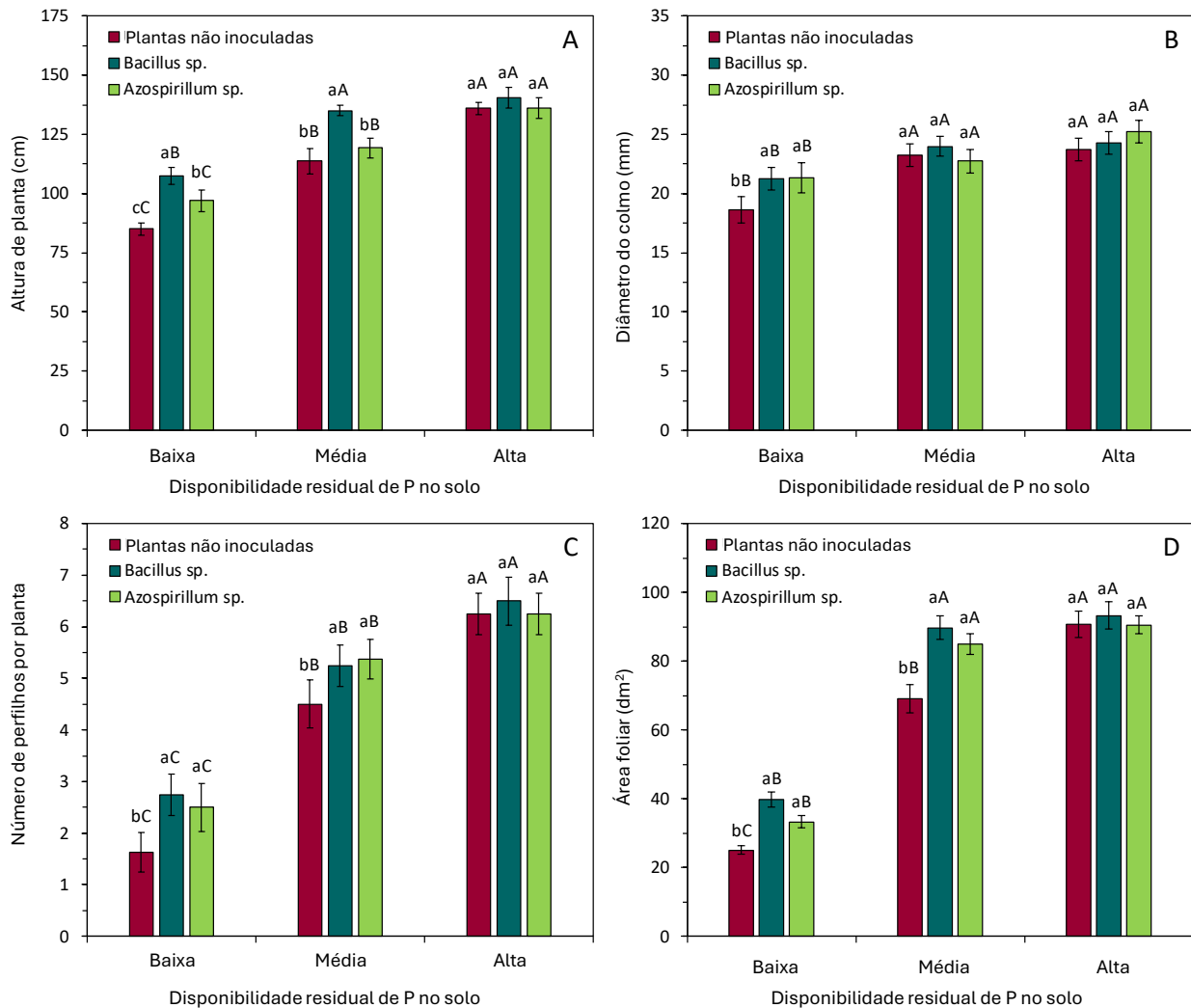


Figura 1. Efeito do nível de P residual do solo e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) na altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), número de perfilhos por planta (C) e área foliar (D) das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., var. RB867515) 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).

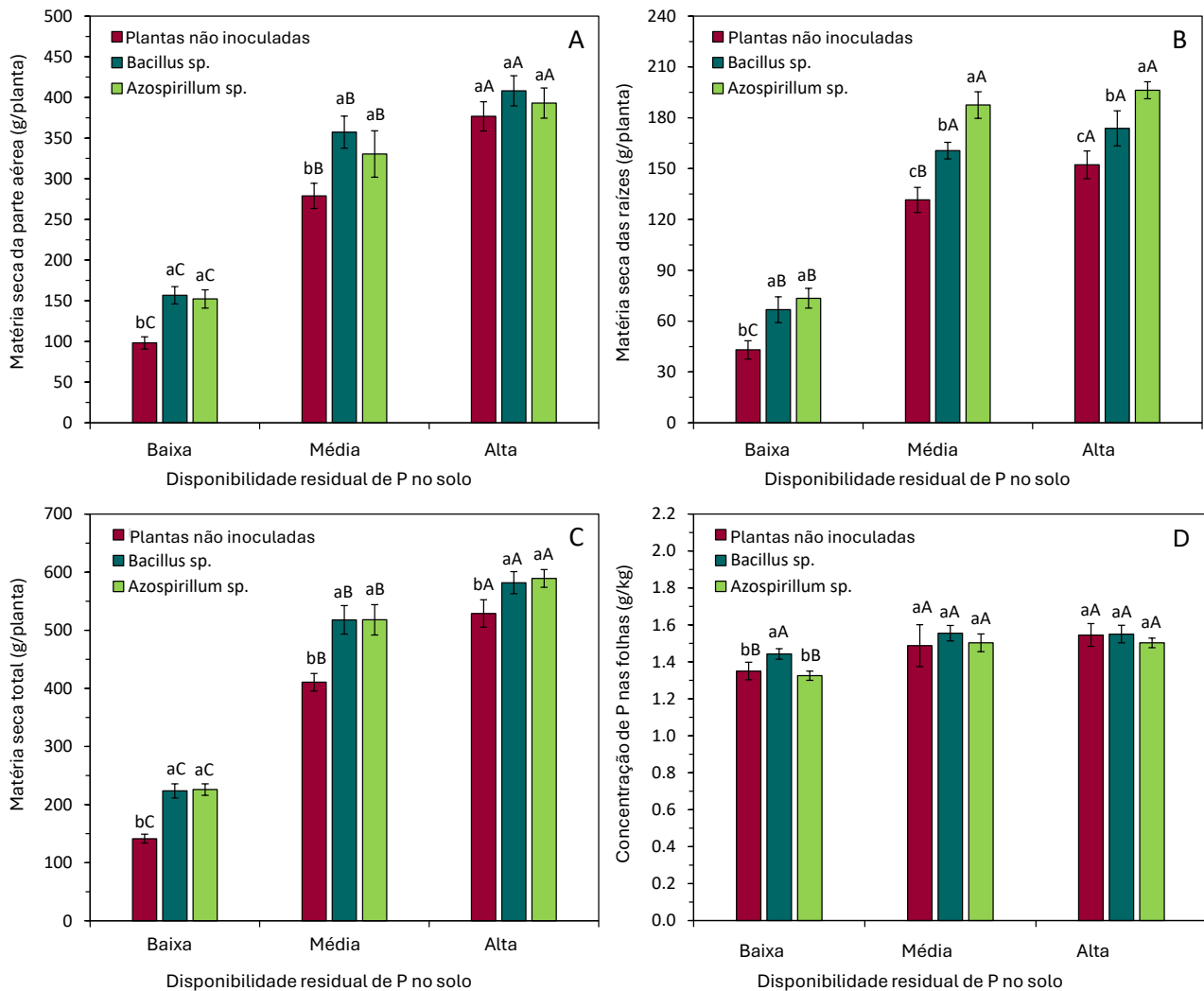


Figura 2. Efeito do nível de P residual do solo e da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* sp. ou *Azospirillum* sp.) na matéria seca da parte aérea (A), matéria seca das raízes (B), matéria seca total (C) e concentração de P nas folhas (D) das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* 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/Agrônômica. 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