

# Uso de Bactérias Solubilizadoras de Fosfato para Potencializar o Crescimento de Variedades de Cana-de-Açúcar

## Use of Phosphate Solubilizing Bacteria to Improve the Growth of Sugarcane Varieties

Daniel Henrique Santana Rodrigues<sup>\*a</sup>; Sara da Silva Abes<sup>b</sup>; Fábio Steiner<sup>c</sup>; Ronaldo da Silva Viana<sup>d</sup>; Rodrigo Silva Alves<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Agronomia “Sistema de Produção”, Campus de Ilha Solteira. SP, Brasil

<sup>b</sup>Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana. MS, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia. MS, Brasil.

<sup>d</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas. SP, Brasil

\*E-mail: [daniel.santana@unesp.br](mailto:daniel.santana@unesp.br).

### Resumo

O fósforo é um macronutriente essencial para o crescimento de plantas, mas uma porção mínima está disponível no solo. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de Bactérias Solubilizadoras e Fosfato (BSP) em potencializar o crescimento de duas variedades de cana, cultivadas sob diferentes doses de adubação fosfatada. O experimento foi disposto no delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 3$ , com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por mudas de duas variedades, inoculadas ou não com BSP e aplicação de três doses de adubação fosfatada. Após 120 dias do plantio foi feita análise dos parâmetros: número de perfilhos (NP), número de folhas por perfilho (NFP), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). O uso de BSP foi validado para as duas variedades, promovendo aumentos significativos no NP e DC, relevantes para a produtividade precoce da cana. RB 867515 foi mais responsiva que CTC 9001 para AP, DC, MSPA, MSR e MST. CTC 9001 apresentou maiores valores NP que RB 867515. O efeito das doses de fósforo foi significativo em todas características morfológicas avaliadas, exceto para o NFP, mas as variedades apresentaram respostas distintas à adubação fosfatada. A adição de adubação fosfatada aumentou o teor de P e as variedades foram responsivas, mas RB 867515 foi mais responsiva que CTC 9001, na produção de MSPA e MST. A dose alta proporcionou maiores valores para NP, MSPA e MST.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp. Promoção de Crescimento de Plantas. *Bacillus subtilis*. *Bacillus megaterium*. Inoculação.

### Abstract

Phosphorus is an essential macronutrient for growth of plants, but a minimal fraction is available in the soil. The objective of this study was to evaluate the use of Phosphate Solubilizing Bacteria (PSB) to improve the growth and development of two sugarcane varieties, cultivated under different doses of phosphate fertilization. The experiment was conducted in the completely randomized experimental design arranged in the factorial scheme ( $2 \times 2 \times 3$ ), and four replications was used. The treatments were composed of seedlings of two sugarcane varieties, inoculation or not with PSB, and applications of three doses of phosphate fertilization. After 120 days of planting, the following parameters were analyzed: tiller number (TN), tiller leaf number (TLN), plant height (PH), stalk diameter (SD), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM), and total dry mass (TDM). The use of PSB was validated for two varieties, as well as, to promoting significantly increases in initial productivity as TN and SD. RB 867515 was more responsive than CTC 9001 to PH, SD, SDM, RDM and TDM. CTC 9001 showed higher values maiores valores to TN than RB 867515. The effect of phosphorus doses was significant for all evaluated morphological characteristics of plants, except for the TLN, but sugarcane varieties responded differently to phosphate fertilization. The addition of phosphate fertilization increased the P content, and the varieties were responsive, but RB 867515 was more responsive than CTC 9001 to producing of SDM and TDM. The high dose provided higher values to TN, SDM and TDM.

**Keywords:** *Saccharum* spp. Plant Growth Promotion. *Bacillus subtilis*. *Bacillus megaterium*. Inoculation.

## 1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura semi-perene  $C_4$  cultivada, mundialmente, em condições edafoclimáticas tropicais e subtropicais, sendo atualmente, fundamental para a produção de biocombustíveis e seus derivados (MOLIJN *et al.*, 2018; HUANG *et al.*, 2020; NEVES; KALAKI, 2020; SHENDRYK *et al.*, 2020; FAO, 2022).

O fósforo (P) é um elemento essencial para a cana-de-açúcar, pois participa de diversos processos metabólicos, atuando no desenvolvimento das raízes, no perfilhamento,

na produtividade dos colmos e na qualidade tecnológica da cultura, dentre outros (SCHIAVO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; BHATT *et al.*, 2021; LIZCANO-TOLEDO *et al.* 2021; ROSA, 2021; SILVA, 2021). O Brasil é um país tropical, de clima úmido e solos ácidos, deficientes em muitos minerais essenciais, extraídos pelos processos de intemperismo, necessitando de aplicação de grandes quantidades de P e, portanto, elevando os custos da produção agrícola canavieira (SANTOS; KANDASAMY; RIGOBELLO, 2018; SCHIAVO *et al.*, 2018; WITHERS *et al.*, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2020; ROSA, 2021; SILVA

et al., 2023).

Os solos agrícolas brasileiros contêm uma porção mínima de P lábil disponível para as culturas, os quais em algumas circunstâncias específicas é um elemento limitante, devido à sua elevada reatividade com metais, somado à fatores como o pH e composição do solo (SANTOS; KANDASAMY; RIGOBELLO, 2018; SCHIAVO *et al.*, 2018; WITHERS *et al.*, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2020; ROSA *et al.*, 2020; ROSA, 2021; LIZCANO-TOLEDO *et al.* 2021). O reaproveitamento da fração de P não lábil no solo está em discussão em nível global, com ênfase na produção agrícola canavieira brasileira (WITHERS *et al.*, 2018).

Diversos benefícios são indicados para plantas cultivadas e inoculadas com bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), principalmente devido ao efeito de fitormônios, que atuam na promoção do crescimento vegetal, no desenvolvimento de raízes, na solubilização de fosfato, no controle biológico de plantas, na produção de antibióticos naturais e no efeito antagonista contra patógenos (GALINDO *et al.*, 2018; PATEL; MINOCHEHERHOMJI, 2018; STAMENKOVIC *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2019; KRAMER *et al.*, 2020; REIS *et al.*, 2020; RYU *et al.*, 2020; GUIMARÃES *et al.*, 2021; ROSA, 2021; SILVA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023). O uso de BPCP constitui uma opção sustentável para a redução da quantidade de fertilizantes químicos na cultura da cana-de-açúcar, reduzindo o custo de produção e o impacto ambiental (PATEL; MINOCHEHERHOMJI, 2018; SANTOS; KANDASAMY; RIGOBELLO, 2018; ROSA, 2021; SILVA, 2021).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) podem promover o crescimento de plantas, desempenhando um papel fundamental, devido à sua capacidade em solubilizar fosfatos insolúveis no solo (ZHU *et al.*, 2018; ROSA *et al.*, 2020; GUIMARÃES *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.* 2022; SILVA *et al.*, 2023) e a sua utilização na agricultura representa uma alternativa biotecnológica sustentável, que pode proporcionar a redução do custo da produção agrícola (PATEL; MINOCHEHERHOMJI, 2018; SANTOS; KANDASAMY; RIGOBELLO, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2020; ROSA *et al.*, 2020; SOUMARE *et al.*, 2020; LIZCANO-TOLEDO *et al.* 2021; ROSA, 2021; SILVA, 2021; SILVA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023).

*Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* são espécies de BPCP, solubilizadoras de fosfato (BSP), que produzem ácidos orgânicos e transformam o P não lábil em formas assimiláveis para plantas (HASHAM *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2019; ZOUGARI-ELWEDI *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.* 2022).

Estudos sobre a avaliação do efeito da inoculação de BSP na cultura de cana-de-açúcar são restritos. Silva *et al.*

(2018) destacaram que a aplicação de composto orgânico associado à inoculação de BSP é capaz de aumentar a produtividade de cana-de-açúcar em condições de campo. Rosa *et al.* (2020), Rosa (2021), Silva (2021) e Fernandes (2022) avaliaram o efeito de BPCP aplicadas isoladamente ou combinadas na cultura de cana-de-açúcar, associadas ou não às doses residuais de P, encontrando resultados satisfatórios. Silva *et al.* (2023) verificaram associação entre maiores ganhos econômicos na produção agrícola de cana-de-açúcar, com o uso de fonte orgânica de P e inoculação com BSP. Outros estudos abrangeram diferentes culturas, tais como, de Ramos-Cabrera *et al.* (2021) para a cultura do café e Guimarães *et al.* (2021) para a cultura do milho.

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de BSP em potencializar o crescimento de variedades de cana-de-açúcar, cultivadas sob diferentes doses de adubação fosfatada em solo arenoso do Cerrado de baixa fertilidade.

## 2 Material e Métodos

Este estudo foi realizado em condições de casa de vegetação, localizada na estação experimental agrônômica da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia (UUC), Estado de Mato Grosso do Sul (19°06'48" S; 51°44'03" W e altitude de 470 m), durante o período de julho de 2020 a julho de 2021.

Amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-20 cm) de um Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico (Nqo) de textura arenosa, constituído de 120 g/kg de argila, 40 g/kg de silte e 840 g/kg de areia (SANTOS *et al.*, 2018). Em seguida, o solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira de malha de 2,0 mm e, caracterizado quimicamente (Quadro 1).

**Quadro 1** - Características químicas das amostras de solo. UEMS/Cassilândia-MS, 2020/2021

Atributos do Solo	Valores
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,6
Matéria Orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	14
P (Mehlich-1, mg dm <sup>-3</sup> )	7,8
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,16
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,50
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,50
H <sup>+</sup> Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,60
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,25
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,80
V (%)	38

Valores referentes à Potencial Hidrogeniônico (pH), Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Potássio (K<sup>1+</sup>), Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), Magnésio (Mg<sup>2+</sup>), Acidez Potencial (H<sup>+</sup>AL), Alumínio (Al<sup>3+</sup>), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação de Bases (V%).

**Fonte:** dados da pesquisa.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,10 g de calcário por dm<sup>3</sup> de solo (CaO: 38%; MgO: 11%; PRNT: 85%), visando elevar a saturação

de bases à 70% (SOUSA; LOBATO, 2004). A seguir, o solo foi homogeneizado, umedecido até alcançar 80% da capacidade de retenção de água e incubado por 30 dias.

O solo foi fertilizado, após o período de incubação com calcário, utilizando as seguintes doses de macronutrientes: 80, 150 e 15 mg dm<sup>-3</sup> de N (ureia), de K (cloreto de potássio) e de S (gesso agrícola), respectivamente. Os micronutrientes aplicados foram: 5, 1 e 2 mg dm<sup>-3</sup> de Cu (sulfato de cobre), Zn (sulfato de zinco), 1 Mo (molibdato de amônio) e 2 de B (bórax), respectivamente.

Uma porção de 11 dm<sup>3</sup> de solo fertilizado foi acondicionada em vasos plásticos de 12 L de capacidade, realizado o plantio de uma muda pré-brotada (MPB) de cana-de-açúcar por vaso e mantidas por um período de 120 dias.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos, inteiramente casualizados, e em esquema fatorial 2 × 2 × 3, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pelas duas variedades de cana-de-açúcar: RB 86 7515 e CTC 9001 (Quadro 2). O segundo fator foi constituído pela inoculação ou não das mudas, com bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP): *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, fornecidas por produto comercial BiomaPhos. O terceiro fator foi constituído pela aplicação de três doses de adubação fosfatada: 0, 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples).

**Quadro 2** - Características das variedades: CTC 9001 (CTC, 2018) e RB 867515 RIDESA (2010)

Variedades	Ciclo de Maturação	Perfilhamento	Produtividade
CTC 9001	Precoce	Médio	Alta
RB 867515	Tardio	Médio	Alta

Fonte: dados da pesquisa.

O plantio das variedades de cana-de-açúcar nos vasos plásticos foi realizado em outubro de 2020, utilizando-se mudas com aproximadamente 28 dias de idade, produzidas a partir de minirrebolos, que foram acondicionados em bandejas plásticas (42 cm × 28 cm × 6 cm), contendo substrato comercial (Carolina Soil®). Os minirebolos são segmentos de colmos, de gemas individualizadas, medindo 3,0 cm de comprimento.

A inoculação das mudas de cana-de-açúcar foi feita com o inoculante líquido comercial BiomaPhos que contém as cepas de *Bacillus subtilis* [CNPMS B2084 (BRM034840)] e *Bacillus megaterium* [CNPMS B119 (BRM033112)] nas concentrações mínimas de 2,0 × 10<sup>8</sup> células viáveis/mL/muda e 4,0 × 10<sup>9</sup> células viáveis/mL/muda, respectivamente.

Ao final do experimento, cerca de 120 dias após o plantio das mudas, as plantas de cana-de-açúcar foram retiradas dos vasos, sendo as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1 mm, para remoção do solo. Os seguintes parâmetros foram analisados: número de perfilhos (NP), número de folhas por perfilho (NFP),

altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR).

A altura da planta, 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, em milímetros, foi mensurado na parte central do primeiro entrenó do colmo principal das plantas, utilizando-se um paquímetro digital.

O sistema radicular e a parte aérea das plantas foram separados, secos em estufa a 65 °C durante 72 horas e pesados em balança analítica para determinação da MSR e da MSPA, sendo os resultados expressos em grama/planta. A massa seca total (MST) foi obtida pela soma da MSR e da MSPA.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2019).

### 3 Resultados e Discussão

A análise de variância reportou efeitos significativos ( $p \leq 0,05$ ) para os fatores isolados das variedades de cana-de-açúcar, inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) e doses de aplicação de fósforo (P) em todas as características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar, exceto para o NFP (Quadro 3).

Os microrganismos do solo são fundamentais para os processos de mineralização, pois possuem a capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis, adicionados ou existentes no solo, promovendo o crescimento de plantas (ZHU *et al.*, 2018; ROSA *et al.*, 2020; GUIMARÃES *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.* 2022; SILVA *et al.*, 2023).

A otimização de processos e de conhecimentos técnicos de seleção, de multiplicação, de armazenamento de MSP e de suas interações na rizosfera são fundamentais para o desenvolvimento de inoculantes microbianos eficientes, com alta capacidade de solubilização de fósforo e com potencial para o uso na fertilização do solo em cultivo de cana-de-açúcar (STAMENKOVIĆ *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2019; SOUMARE *et al.*, 2020).

Os efeitos das interações entre os fatores variedades e doses de aplicação de fósforo foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) para a MSPA e a MST (Quadro 3). Estes resultados indicam que, as variedades de cana-de-açúcar possuem respostas distintas à adubação fosfatada.

**Quadro 3** - Resumo da análise de variância para os efeitos dos fatores variedades, inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) e doses de adubação fosfatada nas características morfológicas das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). UEMS/Cassilândia-MS, 2020/2021

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios						
		AP	NP	NFP	DC	MSPA	MSR	MST
Bloco	3	56	0,85	1,87*	2,61**	32,9	307**	322**
Variedade (V)	1	1200**	7,52**	0,96	58,34**	24044,2**	4844**	50460**
Inoculação (I)	1	184	11,02**	4,20	4,84**	8707,5*	3008*	21944**
Dose de fósforo (P)	2	27359*	106,08*	0,49	96,80**	488679,1	81793**	965202**
V × I	1	33	0,02	0,16	0,02**	34,5	1338	939
V × P	2	196	1,08	0,95	0,58**	2866,2*	825	6531*
I × P	2	5**	0,58**	1,29	6,08**	938,1*	592	2903
V × I × P	2	5	0,58*	0,55	0,58**	3,7	831	927
Resíduo	33	62**	0,70*	2,23*	1,24**	704,1	413**	126*
CV (%)		7,03	19,25	19,83	5,84	10,79	18,82	10,05

AP: altura de planta; NP: número de perfilhos; NFP: número de folhas por perfilho; DC: diâmetro de colmo; MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca das raízes; MST: massa seca total; \*\* e \* significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Fonte: dados da pesquisa.

As variedades de cana-de-açúcar RB 867515 e CTC 9001 responderam positivamente à inoculação de BSP, promovendo aumentos significativos relevantes em duas características morfológicas avaliadas: NP e DC (Quadro 4). Além disso, as duas variedades foram responsivas a MSPA, MSR e MST (Quadro 5).

**Quadro 4** - Efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) e das doses de adubação fosfatada na altura de planta (AP), número de perfilhos (NP), número de folhas por perfilho (NFP) e no diâmetro do colmo (DC) das duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). UEMS/Cassilândia-MS, 2020/2021

Fontes de Variação	AP (cm)	NP	NFP	DC (mm)
Variedades de cana-de-açúcar <sup>(1)</sup>				
CTC 9001	107 b	4,75 a	7,68 a	17,9 b
RB 867515	117 a	3,96 b	7,40 a	20,3 a
Inoculação com BSP <sup>(1)</sup>				
Plantas inoculadas	114 a	4,83 a	7,24 a	18,75 b
Plantas não inoculadas	110 a	3,87 b	7,83 a	19,46 a
Dose de adubação fosfatada <sup>(2)</sup>				
0 mg dm <sup>-3</sup> de P (baixo)	65 b	1,44 c	7,74 a	15,9 b
60 mg dm <sup>-3</sup> de P (médio)	134 a	5,31 b	7,47 a	20,7 a
120 mg dm <sup>-3</sup> de P (alto)	138 a	6,31 a	7,40 a	20,7 a

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras distintas na coluna mostram diferença significativa pelo teste F em nível de 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> Médias seguidas por letras distintas na coluna mostram diferenças significativas pelo teste t (LSD) em nível de 5% de probabilidade. AP: altura de planta; NP: número de perfilhos; NFP: número de folhas por perfilho; DC: diâmetro de colmo.

Fonte: dados da pesquisa.

Diversos fatores podem influenciar a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, otimizando os processos fisiológicos da planta, o perfilhamento e o crescimento dos colmos em fases precoces do ciclo fenológico da cultura. Além das condições ambientais e de manejo inerentes à nutrição das plantas e características tecnológicas

da produção, a seleção genotípica é uma condição essencial ao cultivo da cana-de-açúcar (DUTRA FILHO *et al.*, 2020; MATOSO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2020) e cada cultivar pode responder, distintamente, ao processo de inoculação de BSP e à adubação fosfatada.

**Quadro 5** - Efeitos da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) e das doses de adubação fosfatada na produção de massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e massa seca total (MST) das duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). UEMS/Cassilândia-MS, 2020/2021

Fontes de variação	MSPA (g/planta)	MSR (g/planta)	MST (g/planta)
Variedades de cana-de-açúcar <sup>(1)</sup>			
CTC 9001	223 b	98 b	321 b
RB 867515	268 a	118 a	386 a
Inoculação com BSP <sup>(1)</sup>			
Plantas inoculadas	259 a	116 a	375 a
Plantas não inoculadas	232 b	100 b	332 b
Dose de adubação fosfatada <sup>(2)</sup>			
0 mg dm <sup>-3</sup> de P (baixo)	45 c	26 b	71 b
60 mg dm <sup>-3</sup> de P (médio)	333 b	155 a	488 a
120 mg dm <sup>-3</sup> de P (alto)	360 a	143 a	503 a

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras distintas na coluna mostram diferença significativa pelo teste F em nível de 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup> Médias seguidas por letras distintas na coluna mostram diferenças significativas pelo teste t (LSD) em nível de 5% de probabilidade. MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca das raízes; MST: massa seca total.

Fonte: dados de pesquisa.

A inoculação com BPCP e, principalmente, as coinoculações duplas associadas à adubação fosfatada, proporcionaram efeitos positivos, entretanto, diversificados sobre os atributos químicos do solo, nutrição das plantas, produtividade e qualidade da variedade de cana-de-açúcar RB 92579 (ROSA *et al.*, 2020; ROSA, 2021).

O uso de *B. subtilis* e *B. pumilus* melhorou a qualidade dos subprodutos da cana-de-açúcar, aumentou a fertilidade do solo e diminuiu os efeitos adversos da adubação feita com vinhaça, promovendo o crescimento vegetal, a produtividade e o alto rendimento da cultura (SANTOS; KANDASAMY; RIGOBELLO, 2018).

A aplicação de fertilizantes químicos pode ser reduzida, quando se aplica microrganismos na produção de cana-de-açúcar, sem ocorrer a diminuição da produtividade (NASCIMENTO, 2020).

A inoculação isolada de *Azospirillum brasilense*, *B. subtilis* e, combinada com *Pseudomonas fluorescens* em diferentes doses residuais de  $P_2O_5$ , promoveram aumento significativo na produtividade de colmos e de açúcar (FERNANDES, 2022).

A coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *B. subtilis* associadas às doses de  $P_2O_5$  aumentou as produtividades de colmos na variedade de cana-de-açúcar RB92579 em solo de textura média-arenosa, com baixo teor de P (ROSA *et al.*, 2020; ROSA, 2021). Por outro lado, a inoculação de *Azospirillum brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens* não influenciou a absorção de nutrientes no genótipo RB 867515 e não aumentou a produção e qualidade tecnológica da cana planta (SILVA, 2021).

A inoculação de BSP esteve associada a maiores atividades das enzimas  $\beta$ -glucosidase ou fosfatase alcalina e, ainda, a altas produtividades de cana-de-açúcar, refletindo em vantagens financeiras para os agricultores (SILVA *et al.*, 2023).

A variedade de cana-de-açúcar RB 867515 foi mais responsiva, que a variedade CTC 9001, especificamente, para a AP, DC, MSPA, MSR e MST. CTC 9001 apresentou maiores valores para NP que a variedade RB 867515 (Quadros 4 e 5).

O efeito das doses de fósforo foi significativo para todas as características morfológicas avaliadas, exceto para o NFP (Quadros 4 e 5). A dose alta de adubação fosfatada (120 mg  $dm^{-3}$  de P) proporcionou maiores valores para o NP, para a MSPA e MST.

A adição de adubação fosfatada aumentou o teor de P e as duas variedades foram responsivas. Entretanto, a variedade RB 867515 foi mais responsiva que a CTC 9001 na produção de MSPA e MST (Quadro 6).

**Quadro 6** - Desdobramentos dos efeitos significativos da interação entre os fatores variedades e doses de adubação fosfatada na produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). UEMS/Cassilândia-MS, 2020/2021

Dose de adubação fosfatada	Variedade de cana-de-açúcar	
	CTC 9001	RB867515
	Matéria seca da parte aérea (g/planta)	
0 mg $dm^{-3}$ de P (baixo)	37 bA	53 cA
60 mg $dm^{-3}$ de P (médio)	308 aB	358 bA
120 mg $dm^{-3}$ de P (alto)	326 aB	394 aA

Dose de adubação fosfatada	Variedade de cana-de-açúcar	
	CTC 9001	RB867515
	Matéria seca total (g/planta)	
0 mg $dm^{-3}$ de P (baixo)	59 bA	82 bA
60 mg $dm^{-3}$ de P (médio)	455 aB	521 aA
120 mg $dm^{-3}$ de P (alto)	451 aB	555 aA

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas, nas linhas, e letras minúsculas distintas, nas colunas, mostram diferenças significativas pelo teste F e teste t (LSD), ambos em nível de 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa.

As variedades de cana-de-açúcar podem apresentar respostas distintas à adubação fosfatada (DUTRA FILHO *et al.*, 2020; MATOSO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2020). A dinâmica do P em um sistema agrícola implica em considerar os aspectos genéticos das plantas, as interações entre o solo, a planta, o fertilizante e o ambiente, dentre outros (LIZCANO-TOLEDO *et al.*, 2021).

#### 4 Conclusão

Este estudo experimental validou o uso de BSP para as variedades de cana-de-açúcar RB 867515 e CTC 9001, em fases precoces do ciclo fenológico. RB 867515 e CTC 9001 são responsivas à inoculação de BSP, promovendo aumentos significativos no NP e DC, características relevantes para a produtividade precoce da cana-de-açúcar.

A variedade de cana-de-açúcar RB 867515 foi mais responsiva do que a variedade CTC 9001 para a AP, DC, MSPA, MSR e MST. CTC 9001 apresentou maiores valores para NP que a variedade RB 867515.

O efeito das doses de fósforo foi significativo em todas as características morfológicas avaliadas, exceto para o NFP, entretanto, as variedades de cana-de-açúcar apresentaram respostas distintas à adubação fosfatada.

A adição de adubação fosfatada aumentou o teor de P e as duas variedades foram responsivas, mas RB 867515 foi mais responsiva que a CTC 9001, na produção de MSPA e MST. A dose alta de adubação fosfatada (120 mg  $dm^{-3}$  de P) proporcionou maiores valores para o NP, para a MSPA e MST.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor do artigo durante os anos de 2020 e 2021.

#### Referências

BHATT, R.; OLIVEIRA, M.W.; SILVA, V.S.G. Nutrição da cana-de-açúcar para segurança alimentar e ambiental. *Braz. J. Dev.*, v.7, n.6, p.64431-64467, 2021. doi: 10.34117/bjdv7n6-701.

CTC. 2018-CTC Genomics\_2. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/produtos/ctc-9001/>. Acesso em: 2 jun. 2022.

DUTRA FILHO, J.A. *et al.* Eficiência de métodos de repetibilidade nas fases finais do melhoramento genético da cana-de-açúcar.

- Res., Soc. Dev., v.9, n.9, p.e174997246, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7246>.
- FAO. *Sugarcane Crop Information*. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sugarcane>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- FERNANDES, G.C. *Nutrição, produtividade e qualidade tecnológica da segunda soqueira de cana-de-açúcar coinoculada com bactérias promotoras de crescimento associada à adubação fosfatada*. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2022.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Rev. Bras. Biom.*, v.37, n.4, p.529-535, 2019. doi: [10.28951/rbb.v37i4.450](https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450).
- GALINDO, F.S. et al. Technical and economic viability of coinoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, v.22, n.1, p.51-56, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p51-56>.
- GUIMARÃES, V.F. et al. Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. *Res., Soc. Dev.*, v.10, n.12, p. e431101220920, 2021. doi: [10.33448/rsd-v10i12.20920](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20920).
- 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](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004).
- HUANG, F.L. et al. Complete genome sequence of *Bacillus megaterium* JX285 isolated from *Camellia oleifera* rhizosphere. *Comput. Biol. Chem.*, v. 79, p. 1-5, 2019. doi: [10.1016/j.compbiolchem.2018.12.024](https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2018.12.024).
- HUANG, J. et al. Sugarcane for bioethanol production: Potential of bagasse in Chinese perspective. *Renewable Sustainable Energy Ver.*, v.133, p.110296, 2020. doi: [10.1016/j.rser.2020.110296](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110296).
- KRAMER, J.; ÖZKAYA, Ö.; KÜMMERLI, R. Bacterial siderophores in community and host interactions. *Nat. Ver. Microbiol.*, v.18, p.152-163, 2020. doi: [10.1038/s41579-019-0284-4](https://doi.org/10.1038/s41579-019-0284-4).
- LIZCANO-TOLEDO, R. et al. Phosphorus dynamics in the soil-plant-environment relationship in cropping systems: a review. *Appl. Sci.*, v.11, n.23, p.11133, 2021. doi: [10.3390/app112311133](https://doi.org/10.3390/app112311133).
- MATOSO, E.S. et al. Influência do uso de um mix de bactérias diazotróficas na biometria e no conteúdo de clorofila de plantas de cana-de-açúcar. *Braz. J. Develop.*, v.6, n.2, p.7261-7274, 2020. doi: [10.34117/bjdv6n2-141](https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-141).
- MENDONÇA, J.J. et al. Diversidade, mecanismos de atuação e potencial agrícola de bactérias promotoras de crescimento de plantas, usando milho como cultura exemplo. *P. A. P.*, v. 25, n. 2, p. e228225202, 2020. doi: <https://doi.org/10.12661/pap.2020.010>.
- MOLIJN, R.A. et al. Data Descriptor: Ground reference data for sugarcane biomass estimation in São Paulo state, Brazil. *Sci. Data*, v.5, p.1-18, 2018. doi: [10.1038/sdata.2018.150](https://doi.org/10.1038/sdata.2018.150)
- NASCIMENTO, F.C. *Absorção de nitrogênio e fósforo em milho, soja e cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas em diferentes níveis de adubação*. 2020. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2020.
- NEVES, M.F.; KALAKI, R.B. *Bioenergy from sugarcane*. Guariba: Socicana, 2020.
- OLIVEIRA, O.H. et al. Produção de biomassa de cana-de-açúcar em fase de estabelecimento. *Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent.*, v.7, n.17, p.1379-1389, 2020. doi: [10.21438/rbgas\(2020\)071722](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071722).
- PATEL, T.S.; MINOCHEHERHOMJI, F.P. Plant growth promoting rhizobacteria: blessing to agriculture. *Int. J. Pure App. Biosci.*, v.6, n.2, p.481-492, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6383>.
- RAMOS-CABRERA, E.V. et al. Evaluación de bacterias endofíticas solubilizadores de fósforo en café, una alternativa sostenible. *Biotechnol. Sector Agropec. Agro.*, v.19, n.2, p.94-107, 2021. doi: [10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1554](https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1554).
- REIS, V.M. et al. Agronomic performance of sugarcane inoculated with *Nitrospirillum amazonense* (BR11145). *Rev. Caatinga*, v.33, n.4, p.918-926, 2020. doi: [10.1590/1983-21252020v33n406rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n406rc).
- RIDESA. *Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar*. Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.cana.com.br/biblioteca/informativo/catalogo-2010.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- RODRIGUES, D.H. S.; ABES, S.S.; STEINER, F. Resposta de variedades de cana-de-açúcar à adubação nitrogenada e inoculação com *Azospirillum brasilense*. In: ZUFFO, A.M.; AGUILERA, J.G. *Agricultura 4.0*. 1. Nova Xavantina, 2020. p.79-96.
- RODRIGUES, D.A. et al. Desenvolvimento da forrageira *Pennisetum purpureum* (Schumach) cv. BRS Kurumi sobre aplicação *Azospirillum brasiliense* (N), *Bacillus subtilis* (P). *Res., Soc. Dev.*, v.11, n.9, p.e7111931551, 2022. doi: [10.33448/rsd-v11i9.31551](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31551).
- ROSA, P.A.L. et al. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. *Front. Environ. Sci.*, v.8, 2020. doi: [10.3389/fenvs.2020.00032](https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00032).
- ROSA, P.A.L. *Nutrição e desempenho agrônomo da cana-de-açúcar inoculada com bactérias promotoras de crescimento associado à redução da adubação fosfatada*. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.
- RYU, M.H. et al. Control of nitrogen fixation in bacteria that associate with cereals. *Nat. Microbiol.*, v.5, n.2, p.314-330, 2020. doi: [10.1038/s41564-019-0631-2](https://doi.org/10.1038/s41564-019-0631-2).
- SANTOS, H.G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa, 2018.
- SANTOS, R.M.; KANDASAMY, S.; RIGOBELLO, E.C. Sugarcane growth and nutrition levels are differentially affected by the application of PGPR and cane waste. *Microbiol. Open*, v.7, n.6, p. e00617, 2018. doi: [10.1002/mbo3.617](https://doi.org/10.1002/mbo3.617).
- SCHIAVO, J.A. et al. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. *Rev. Ciênc. Agrár.*, v.41, n.2, p.398-407, 2018. doi: [10.19084/RCA17136](https://doi.org/10.19084/RCA17136).
- SHENDRYK, Y. et al. Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, v.92, p.102177, 2020. doi: [10.1016/j.jag.2020.102177](https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102177).
- SILVA, V.S.G. et al. Nutritional requirement of sugarcane cultivars. *J. Agric. Sci.*, v.10, n.4, p.361-369, 2018. doi: [10.5539/jas.v10n4p361](https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p361).
- SILVA, A.L.M. *Inoculação de bactérias promotoras de crescimento na cana-de-açúcar*. 2021. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.
- SILVA, J.C. et al. Multifunctional characteristics of *Acinetobacter*

- lwoffii Bac109 for growth promotion and colonization in micropropagated sugarcane. *Pesq. Agropec. Trop.*, v.51, p. e69373, 2021. doi: 10.1590/1983-40632021v5169373.
- SILVA, A.M.M. et al. Economic gains using organic P source and inoculation with P-solubilizing bacteria in sugarcane. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, v.27, n.2, p.101-107, 2023. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p101-107.
- SINGH, D. et al. A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPRs): Functions and benefits. In: SINGH, D.; GUPTA, V.; PRABHA, R. *Microbial interventions in agriculture and environment*. Singapore: Springer, 2019. p.205-227.
- SOMARE, A. et al. From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and needs. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, v.7, n. 425, p.1-14, 2020. doi: 10.3389/fbioe.2019.00425.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- STAMENKOVIĆ, S. et al. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Span. J. Agric. Res.*, v.16, n.1, p.e-09R01, 2018. doi: 10.5424/sjar/2018161-12117.
- WITHERS, P.J.A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Sci. Rep.*, v.8, n.2537, p.1-13, 2018. doi:10.1038/s41598-018-20887-z.
- ZHU, J.; LI, M.; WHELAN, M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. *Sci. Total Environ.*, v.612, p.522-537, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.095.
- ZOUGARI-ELWEDI, B. et al. Responses of date palm seedling to co-inoculation with phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal arbuscular fungi. *Int. J. Environ. Agric. Biotech.*, v.4, n.2, p.581-588, 2019. doi: 10.22161/ijeab/4.2.43.