

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

POLIANA APARECIDA LEONEL ROSA

**NUTRIÇÃO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR
INOCULADA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO
ASSOCIADO À REDUÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Ilha Solteira
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

POLIANA APARECIDA LEONEL ROSA

**NUTRIÇÃO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR
INOCULADA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO
ASSOCIADO À REDUÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutora em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Orientador

Ilha Solteira
2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R788n Rosa, Poliana Aparecida Leonel.
Nutrição e desempenho agrônômico da cana-de-açúcar inoculada com bactérias promotoras de crescimento associado à redução da adubação fosfatada / Poliana Aparecida Leonel Rosa. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021 206 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2021

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia

1. Saccharum officinarum L. 2. Fósforo. 3. Azospirillum brasilense. 4. Bacillus subtilis. 5. Pseudomonas fluorescens. 6. Acúmulo de nutrientes. 7. Produtividade.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB3 - 9099

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

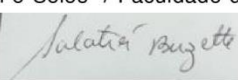
TÍTULO DA TESE: NUTRIÇÃO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR INOCULADA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO ASSOCIADO A REDUÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

AUTORA: POLIANA APARECIDA LEONEL ROSA

ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

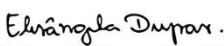
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. SALATIER BUZETTI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP


Prof. Dr. EDSON CABRAL DA SILVA (Participação Virtual)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - IF Goiano


Profª. Drª. ELISANGELA DUPAS (Participação Virtual)
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

Ilha Solteira, 03 de setembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois graças a Ele podemos acordar todas as manhãs e ter a chance de viver um novo dia.

À minha família, minha mãe Fátima, meu pai Pedro (*in memoriam*) e meu avô Luiz (*in memoriam*), por todo incentivo e amor incondicional, os quais sempre lutaram para que eu pudesse ter a chance de estudar, pois souberam o quão árdua é a vida sem o estudo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela oportunidade que me deu quando bati na porta de sua sala pela primeira vez, por ter acreditado em mim, por todo o auxílio, sabedoria e empatia, pelo exemplo de profissional e pessoa que é, dedicado, humilde, honesto e humano. Naquele momento ganhei mais que um orientador, ganhei um amigo. Foram belos anos de parceria e muito aprendizado, que me fizeram crescer intensamente.

Ao Willian por todo o companheirismo e paciência, por sempre estar ao meu lado, me apoiando e auxiliando quando precisei, seja sorrindo, seja enxugando minhas lágrimas ou construindo as réguas para medir as plantas do experimento.

Às belas amizades que fiz ao longo dessa trajetória na Unesp de Ilha Solteira, em especial a Jaqueline, Gabriela, Nayara, Flávia, Giseli, Mariele, Mayara, Karina, Lígia, Noemi, Deyvison, Fernando, Murilo, Yane. Vocês deixaram a caminhada mais leve e proveitosa. Obrigada pelos ótimos momentos compartilhados!

Aos amigos da equipe de Nutrição de Plantas, que tanto auxiliaram para a realização deste trabalho e de tantos outros: Emariene, Evelyn, Guilherme, Galindo, Arshad, Carlos, João Pedro, Vinicius B., Pedro Henrique, Felipe, Vinícius M., Willian Xingu, Maurício Hammas, Elisângela Gaúcha, Ingrid, Jeferson, Rafaela, Rinaldi e tantos outros. Muito obrigada, não seria possível sem vocês!

À professora Kátia Maltoni pela prestatividade e auxílio na classificação do solo da área experimental. Ao professor Paulo Pavinato e a doutoranda Mayara Martins por toda a colaboração com a análise de P-total do solo. Ao professor Fabiano Gama pela ajuda com a análise microbiológica do solo.

Aos amigos do GOU (Grupo de Oração Universitário), por todos os momentos de partilha, oração e descontração. Vocês foram essenciais!

Aos membros da banca de qualificação e de defesa, pelo tempo dispendido à leitura do trabalho e por todas as contribuições enriquecedoras.

A todos os professores(as) que tive nesse período, pelo grande conhecimento ministrado e experiências transmitidas. Vocês foram cruciais para que eu pudesse chegar até aqui!

Aos funcionários/amigos dos Laboratórios de Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo, Física do Solo, do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FEIS-UNESP, da Seção de Pós-Graduação e da Biblioteca, por toda colaboração e dedicação.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, pelo acolhimento e oportunidade de crescimento pessoal e acadêmico profissional.

À Usina de açúcar e álcool em questão, pela estrutura e suporte para desenvolvimento do experimento.

À CAPES e à Univesp, pela concessão das bolsas de estudo e apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que a realização deste trabalho fosse possível. Obrigada!!!

RESUMO

Devido à importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia brasileira, são necessários estudos visando aumentar a eficiência da adubação fosfatada, principalmente em solos menos férteis, muito intemperizados, com presença de óxidos de Fe e Al. Buscando-se uma agricultura mais sustentável, o uso isolado ou combinado de bactérias promotoras de crescimento, capazes de solubilizar fosfato e promover o crescimento de plantas, especialmente de raízes, pode aumentar a eficiência da adubação fosfatada. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da inoculação com três bactérias promotoras de crescimento aplicadas isoladamente ou combinadas, em sulco de plantio (cana-planta) e em jato dirigido na base da planta (na rebrota da 1ª cana-soca), associadas a doses reduzidas de fósforo (P), nas características produtivas, estado nutricional e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada num solo com baixo teor de P, na região Noroeste Paulista. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições, dispostos em esquema fatorial 8 x 5, sendo oito inoculações (1. Sem inoculação (testemunha); 2. Inoculação com *Azospirillum brasilense*; 3. Inoculação com *Bacillus subtilis*; 4. Inoculação com *Pseudomonas fluorescens*; 5. Inoculação com *A. brasilense* + *B. subtilis*; 6. Inoculação com *A. brasilense* + *P. fluorescens*; 7. Inoculação com *B. subtilis* + *P. fluorescens*; 8. Inoculação com *A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*) e cinco doses de fósforo aplicadas apenas por ocasião do plantio (0, 45, 90, 135, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅). As inoculações e doses de fósforo estudadas influenciaram nos atributos químicos do solo, na diagnose foliar, massa seca de plantas, acúmulo de nutrientes, biometria, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Recomenda-se a inoculação combinada de *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* associada à dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio da cana-de-açúcar, visto que, esse tratamento incrementa a produtividade de colmos e de açúcar da cana-planta e 1ª cana-soca da variedade RB92579, em um solo com baixo teor de P. Portanto, obtém-se economia de 75% da dose recomendada de fósforo, podendo assim, ser uma alternativa mais eficiente e sustentável para reduzir os custos de produção da cultura da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L. Fósforo. *Azospirillum brasilense*. *Bacillus subtilis*. *Pseudomonas fluorescens*. Acúmulo de nutrientes. Produtividade.

ABSTRACT

Due to the importance of sugarcane crop for the Brazilian economy, studies are needed to increase the efficiency of phosphate fertilization, especially in less fertile soils, very weathered, with the presence of Fe and Al oxides. Seeking a more sustainable agriculture, the isolated or combined use of growth-promoting bacteria, capable of solubilizing phosphate and promoting plant growth, especially roots, can increase the efficiency of phosphate fertilization. The objective of this research was to evaluate the effect of inoculation with three growth-promoting bacteria applied alone or in combination, in a planting furrow (plant cane) and in a directed jet at the base of the plant (in the regrowth of the first ratoon), associated with reduced doses of phosphorus, in the productive characteristics, nutritional status and technological quality of sugarcane cultivated in a soil with low P content, in the Northwest region of São Paulo. The experimental design used was a randomized block with three replications, arranged in a factorial scheme 8 x 5, with eight inoculations (1. No inoculation (control); 2. Inoculation with *Azospirillum brasilense*; 3. Inoculation with *Bacillus subtilis*; 4. Inoculation with *Pseudomonas fluorescens*; 5. Inoculation with *A. brasilense* + *B. subtilis*; 6. Inoculation with *A. brasilense* + *P. fluorescens*; 7. Inoculation with *B. subtilis* + *P. fluorescens*; 8. Inoculation with *A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*) and five doses of phosphorus applied only at planting (0, 45, 90, 135, 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅). The inoculations and doses of phosphorus studied influenced the chemical attributes of the soil, leaf diagnosis, plant dry mass, nutrient accumulation, biometrics, yield and technological quality of sugarcane. The combined inoculation of *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* associated with a dose of 45 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the sugarcane planting furrow is recommended, since this treatment increases the yield stalks and yield sugar of plant cane and first ratoon, variety RB92579, in a soil with low P. Therefore, savings of 75% of the recommended dose of phosphorus are obtained, which may be a more efficient and sustainable alternative to reduce sugarcane production costs.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L. Phosphorus. *Azospirillum brasilense*. *Bacillus subtilis*. *Pseudomonas fluorescens*. Nutrients accumulation. Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento. Ilha Solteira-SP.	30
Figura 2 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P resina no solo, nas camadas de 0,00-0,25 m (A) e 0,25-0,50 m (B), cana-planta.	43
Figura 3 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P resina no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-soca.	52
Figura 4 - Efeito de doses de P_2O_5 , para teores de Ca (A), Mg (B), soma de bases (SB) (C) e capacidade de troca catiônica (CTC) (D) do solo, na camada de 0,25-0,50 m, em cana-soca.	55
Figura 5 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P total no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.	66
Figura 6 - Efeito de doses de P_2O_5 , para concentração de P foliar, em cana-soca.	76
Figura 7 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para massa seca (MS) da palhada (A), massa seca de colmo (B) e massa seca total (planta inteira) (C) da cana-planta.	89
Figura 8 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para massa seca (MS) de colmo (A) e massa seca total (planta inteira) (B), da cana-soca.	92
Figura 9 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo na palhada, de Ca (A), Mg (B) e S (C), em cana-planta.	99
Figura 10 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo de P na palhada da cana-planta.	101
Figura 11 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo na palhada, de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.	104
Figura 12 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de N em cana-planta (A), Mg em cana-planta (B) e P em cana-soca (C).	108
Figura 13 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo de P no colmo da cana-planta.	109

Figura 14 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.	118
Figura 15 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de Mn (A) e Zn (B), em cana-planta.	119
Figura 16 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de N (A), K (B) e Ca (C) em cana-planta.	121
Figura 17 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada) de Mg (A) e S (B), em cana-planta.	122
Figura 18 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-planta.	123
Figura 19 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-soca.	125
Figura 20 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.	130
Figura 21 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de Mn (A) e Zn (B), em cana-planta.	131
Figura 22 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para número de perfilhos por metro na época 2 (A), época 3 (B) e época 4 (C), da cana-planta.	139
Figura 23 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para número de perfilhos por metro na época 1 (A) e época 4 (B), da cana-soca.	141
Figura 24 - Efeito de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro na época 3, da cana-soca.	143
Figura 25 - Efeito de doses de P_2O_5 , para altura de plantas na época 1 (A) e época 4 (B), da cana-planta.	145
Figura 26 - Efeito de doses de P_2O_5 , para altura de plantas na época 1 (A), época 2 (B) e época 3 (C), da cana-soca.	146
Figura 27 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para produtividade de colmos da cana-de-açúcar, cana-planta (A) e cana-soca (B).	151

Figura 28 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para fibra (A), POL do caldo (B) e brix (C), da cana-planta.	158
Figura 29 - Efeito de doses de P_2O_5 , para fibra (A), POL do caldo (B) e brix (C), da cana-soca.	160
Figura 30 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para pol da cana-planta (PC) (A), açúcares totais recuperáveis da cana-planta (ATR) (B), e produtividade de açúcar (TAH) da cana-planta (C) e TAH da cana-soca (D).	166
Figura 31 - Efeito de doses de P_2O_5 , para pol da cana (PC) (A) e açúcares totais recuperáveis (ATR) (B), da cana-soca.	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química inicial do solo antes da implantação do experimento. Ilha Solteira - SP, 2017.	29
Tabela 2 - Atributos químicos do solo (P, S-SO ₄ , MO, pH, H+Al e Al) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	41
Tabela 3 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para Al no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.	42
Tabela 4 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para P resina no solo, nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m, em cana-planta.	44
Tabela 5 - Atributos químicos do solo (K, Ca, Mg, SB, CTC e V) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	46
Tabela 6 - Atributos químicos do solo (B, Cu, Fe, Mn, Zn e m%) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	48
Tabela 7 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para saturação por Al (m%) no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.	49
Tabela 8 - Atributos químicos do solo (P, S-SO ₄ , MO, pH, H+Al e Al) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	51
Tabela 9 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para P resina no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-soca.	52
Tabela 10 - Atributos químicos do solo (K, Ca, Mg, SB, CTC e V) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	54

Tabela 11 - Atributos químicos do solo (B, Cu, Fe, Mn, Zn e m%) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	57
Tabela 12 - Teor inicial de P total do solo do experimento, antes da implantação da cana-planta.	65
Tabela 13 - Teores de P total no solo determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	65
Tabela 14 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para P total no solo na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.	66
Tabela 15 - Número mais provável (NMP) de bactérias associativas no solo (camada de 0,00-0,40 m), antes da implantação do experimento.	70
Tabela 16 - Número mais provável (NMP) de bactérias associativas na rizosfera (0,40 m) da cana-planta, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	70
Tabela 17 - Índice de clorofila foliar (ICF) na folha diagnose da cana-de-açúcar variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	73
Tabela 18 - Concentrações de macronutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	75
Tabela 19 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para concentração de K na folha diagnose da cana-soca.	77
Tabela 20 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para concentração de S na folha diagnose da cana-soca.	78
Tabela 21 - Concentrações de micronutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	79
Tabela 22 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P ₂ O ₅ , para concentração de Cu na folha diagnose da cana-planta.	80
Tabela 23 - Concentrações de Nitrato (NO ₃ ⁻) e Amônio (NH ₄ ⁺) na folha diagnose da cana-de-açúcar (cana-soca), variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P ₂ O ₅ utilizadas.	85

Tabela 24 - Massa seca (MS) da palhada, massa seca de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	88
Tabela 25 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para massa seca (MS) da palhada, massa seca de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-planta.	90
Tabela 26 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para massa seca (MS) de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-soca.	93
Tabela 27 - Acúmulo de macronutrientes na palhada (folhas + ponteiro) da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	97
Tabela 28 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de S na palhada da cana-soca.	100
Tabela 29 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de P na palhada da cana-planta.	101
Tabela 30 - Acúmulo de micronutrientes na palhada (folhas + ponteiro) da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	103
Tabela 31 - Acúmulo de macronutrientes no colmo da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	106
Tabela 32 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de P no colmo da cana-planta.	110
Tabela 33 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de K no colmo da cana-planta.	111
Tabela 34 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de K no colmo da cana-soca.	112
Tabela 35 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de Ca no colmo da cana-soca.	112
Tabela 36 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de Mg no colmo da cana-soca.	114
Tabela 37 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de S no colmo da cana-planta.	114

Tabela 38 - Acúmulo de micronutrientes no colmo da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	116
Tabela 39 - Acúmulo total (colmo + palhada) de macronutrientes na cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	120
Tabela 40 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-planta.	124
Tabela 41 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-soca.	125
Tabela 42 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de K (colmo + palhada), na cana-soca.	126
Tabela 43 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de Ca (colmo + palhada), na cana-soca.	127
Tabela 44 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de S (colmo + palhada), na cana-soca.	127
Tabela 45 - Acúmulo total (colmo + palhada) de micronutrientes na cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	129
Tabela 46 - Perfilhos e colmos industrializáveis da cana-de-açúcar, variedade RB92579, ao longo do tempo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	137
Tabela 47 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro, na cana-planta.	140
Tabela 48 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro, na cana-soca.	142
Tabela 49 - Altura de plantas de cana-de-açúcar, variedade RB92579, ao longo do tempo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	144
Tabela 50 - Diâmetro do colmo e número de internódios por colmo da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	147

Tabela 51 - Produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$) ou toneladas de colmos por hectare (TCH) da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	150
Tabela 52 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para produtividade de colmos da cana-de-açúcar.	152
Tabela 53 - Fibra, POL do caldo, brix e pureza do caldo da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	157
Tabela 54 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para fibra, pol do caldo (POL) e brix, da cana-planta.	159
Tabela 55 - Pol da cana (PC), açúcares redutores do caldo (AR), açúcares totais recuperáveis da cana (ATR) e produtividade de açúcar (TAH) da variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.	165
Tabela 56 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para pol da cana (PC) e açúcares totais recuperáveis da cana (ATR).	167
Tabela 57 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para produtividade de açúcar (TAH) da cana-planta e cana-soca.	171

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	CULTURA DA CANA-DE AÇÚCAR	20
2.2	O FÓSFORO (P) COMO NUTRIENTE: IMPORTÂNCIA, DINÂMICA E DISPONIBILIDADE	21
2.3	BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS	23
2.4	SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO POR ALGUMAS BPCPS	26
3	OBJETIVOS	28
3.1	OBJETIVO GERAL	28
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E HISTÓRICO DE MANEJO	29
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	31
4.3	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO (CANA-PLANTA E CANA-SOCA)	31
4.3.1	Cana-planta	31
4.3.2	Cana soca	33
4.4	AVALIAÇÕES NO SOLO	34
4.5	AVALIAÇÕES NA PLANTA (CANA-PLANTA E CANA-SOCA)	35
4.5.1	Análises nutricionais e massa seca	35
4.5.2	Análises biométricas da cana-de-açúcar	37
4.5.3	Indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	38
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	CLIMA	39
5.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO (INCLUINDO DE TEOR DE P-DISPONÍVEL NO SOLO ÀS PLANTAS (P-LÁBIL + P-SOLUÇÃO) – CANA-PLANTA	40

5.3	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO (INCLUINDO TEOR DE P-DISPONÍVEL NO SOLO ÀS PLANTAS (P-LÁBIL + P-SOLUÇÃO) – CANA-SOCA	50
5.4	TEOR DE P-TOTAL NO SOLO (APÓS A COLHEITA DA CANA-PLANTA)	64
5.5	NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP) DE BACTÉRIAS ASSOCIATIVAS NA RIZOSFERA DA CANA-PLANTA - <i>AZOSPIRILLUM</i> SP., <i>BACILLUS SUBTILIS</i> E <i>PSEUDOMONAS FLUORESCENS</i>	69
5.6	ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ICF) E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE – CANA-PLANTA E CANA-SOCA	72
5.7	CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (NO_3^-) E AMÔNIO (NH_4^+) NA FOLHA DIAGNOSE – CANA-SOCA	84
5.8	MASSA SECA DA PALHADA (PONTEIRO + FOLHAS), MASSA SECA DOS COLMOS E MASSA SECA TOTAL DA PARTE AÉREA (COLMO + PALHADA), NO FINAL DO CICLO	87
5.8.1	Cana-planta	87
5.8.2	Cana-soca	91
5.9	ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CANA-DE-AÇÚCAR	96
5.9.1	Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas)	96
5.9.2	Acúmulo de nutrientes nos colmos (Exportação)	105
5.9.3	Acúmulo de nutrientes total na parte aérea (colmo + palhada)	119
5.10	ANÁLISES BIOMÉTRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR	136
5.10.1	Número de perfilhos e de colmos industrializáveis por metro	136
5.10.2	Altura de plantas, Diâmetro do colmo e Número de internódios por colmo	144
5.11	PRODUTIVIDADE DE COLMOS (TCH)	149
5.12	INDICADORES DE QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR	156
5.12.1	Fibra	156
5.12.2	POL do caldo (POL)	161
5.12.3	Brix	161
5.12.4	Pureza do caldo	163

5.12.5	Pol da cana (PC)	164
5.12.6	Açúcares redutores do caldo (AR)	168
5.12.7	ATR (açúcar total recuperável)	168
5.12.8	Produtividade de açúcar (TAH)	170
5.13	CONSIDERAÇÕES FINAIS	175
6	CONCLUSÕES	178
	REFERÊNCIAS	179
	APÊNDICE A - REGISTROS DA PESQUISA	198

1 INTRODUÇÃO

No cenário agrícola nacional, a cana-de-açúcar se destaca como uma das culturas de maior relevância devido à sua diversidade de uso, servindo como matéria-prima na indústria sucroalcooleira para a produção de açúcar e álcool, bem como para a alimentação animal e produção de energia.

Graças à expansão desta cultura e ao grande volume de produção, o Brasil está consolidado como maior produtor mundial de álcool e açúcar e maior exportador desse último, superando países como Índia e China. A produção de cana-de-açúcar do país na safra 2020/21 foi de aproximadamente 654,5 milhões de toneladas, cultivadas em cerca de 8,6 milhões de hectares. A região Centro-Sul produz 602,6 milhões de toneladas, e o estado de São Paulo é responsável por mais da metade da produção nacional (354,3 milhões de toneladas) em uma área de 4,4 milhões de hectares de cana-de-açúcar, o que o garantiu o título de maior produtor nacional (CONAB, 2021).

No ano de 2020, foram utilizadas no Brasil 40,5 milhões de toneladas de fertilizantes, e dessas, 29,4 milhões de toneladas foram importadas. Tendo em vista apenas os fertilizantes fosfatados, o Brasil é o terceiro maior consumidor mundial, sendo que em 2020 as importações desse nutriente ultrapassaram 7 milhões de toneladas, o que significa que o Brasil teve que importar cerca de 60% de todo seu consumo fosfatado (ANDA, 2021; GLOBALFERT, 2021).

Novas áreas de ocupação de cana-de-açúcar são comuns em solos antes ocupados por pastagens, muitas vezes degradados, que geralmente possuem restrições químicas que se manifestam como deficiência nutricional na planta (SOUSA JUNIOR, 2016). Desse modo, o fornecimento adequado de nutrientes é necessário, pois plantas bem nutridas refletem em maiores produtividades, com qualidade e maior longevidade do canavial.

O fósforo (P) é um nutriente que limita muito a produtividade das culturas, inclusive da cana-de-açúcar, interferindo diretamente na produção de colmos, qualidade tecnológica e durabilidade dos canaviais, pois apenas uma pequena quantidade desse nutriente se encontra disponível às plantas, sendo que a maior parte se encontra fixada (fortemente adsorvida) aos colóides do solo (P-não lábil), o que resulta na baixa eficiência da adubação fosfatada. Tal fato aumenta a quantidade de fertilizantes fosfatados aplicados, entretanto, é interessante salientar que as reservas

mundiais de fósforo (fontes para tais fertilizantes) são um recurso mineral finito (ANDRADE SILVA *et al.*, 2012).

Dentro desse contexto, se fez necessário o surgimento de alternativas que visem aumentar a eficiência da fertilização fosfatada, mitigando os custos de produção da cultura com esse insumo, de maneira mais sustentável. Assim, o uso de bactérias com capacidade de solubilizar fósforo indisponível do solo e promover o crescimento de plantas, especialmente do sistema radicular, pode aumentar a eficiência da adubação fosfatada, culminando na redução da dose de fertilizante aplicada.

Tais bactérias são denominadas promotoras do crescimento de plantas (BPCPs), sendo descritas diversas espécies e estirpes de gêneros como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum*, *Pseudomonas*, entre outras. Além de estimular as plantas na produção de fitohormônios, estimulando o crescimento vegetal, podem também promover a solubilização de elementos como fósforo e zinco, melhorar a absorção de água e nutrientes, consequentemente induzindo resistência a doenças ou competições por patógenos ou outros estresses (DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003; MARIANO *et al.*, 2004; RODRÍGUEZ *et al.*, 2004; HAMEEDA *et al.*, 2008; MARRA *et al.*, 2012; ZENG *et al.*, 2012). É importante salientar que os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* são considerados os mais eficientes solubilizadores de fosfatos inorgânicos (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999).

Dessa forma, devido à importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia brasileira, sua grande ocupação territorial e seu elevado consumo de fertilizantes, é um desafio aumentar a eficiência das adubações, principalmente a fosfatada, que está entre os insumos que mais oneram o custo de produção, ainda mais em solos menos férteis, muito intemperizados e deficientes em fósforo, a exemplo da região do Noroeste Paulista.

Existem diversos trabalhos em distintas culturas, com *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus in vitro* ou em vasos, mas com este estudo foi possível descobrir o potencial promotor de crescimento dessas bactérias em condições de campo na cultura da cana-de-açúcar, situação em que praticamente não se encontra trabalhos. Além disso, a agricultura passa por um momento de transição, denominado “Microrevolução verde” (HUNGRIA, 2016), em que o uso das BPCPs se justifica. Portanto, a alternativa de reduzir as doses de adubo fosfatado, aliada à inoculação com combinações de bactérias, e ainda obtenção de incrementos no rendimento, traz mais sustentabilidade ao cultivo e economia ao produtor de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DA CANA-DE AÇÚCAR

Planta da classe Magnoliopsida, pertencente à família Poaceae, gênero *Saccharum*, sendo a espécie cultivada a *Saccharum officinarum* L. De metabolismo C4 (*anatomia "Kranz"*) se adapta bem às condições de alta luminosidade, altas temperaturas e requer grande quantidade de água para suprir suas necessidades hídricas (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006). Possui inflorescência do tipo panícula, flores hermafroditas, caule cilíndrico composto de nós e entrenós, folhas alternas, opostas, presas aos nós dos colmos, com lâminas de sílica em suas bordas, e bainha aberta. Cultura de reprodução sexuada, porém, comercialmente é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa. Por ser semi-perene, a cana possibilita várias colheitas ou cortes depois de cada reforma do canavial (VITTI *et al.*, 2007). Cultivada em regiões tropicais e subtropicais de mais de 90 países, a cana-de-açúcar é difundida em uma ampla faixa de latitude de 35°N a 30°S, exigindo precipitações pluviométricas entre 1500 e 2500 mm por ciclo vegetativo (JADOSKI *et al.*, 2010).

A cana-de-açúcar é uma cultura que exhibe grande importância no cenário agropecuário brasileiro. O que se deve ao seu uso diversificado, podendo ser utilizada como matéria-prima em pequenas fábricas ou grandes agroindústrias na produção de açúcar, etanol, aguardente, cachaça de alambique, rapadura, melado, além da capacidade de geração de energia e uso na alimentação animal, sendo assim uma importante fonte de geração de empregos e renda (REGIS, 2016).

O setor canavieiro atualmente tem se mostrado muito favorável em função do esgotamento das jazidas petrolíferas e ao elevado preço do petróleo. Além da percepção e preocupação das pessoas em relação ao meio ambiente sobre os efeitos indesejáveis da utilização de combustíveis fósseis no balanço de carbono na atmosfera e aos efeitos catastróficos do aquecimento da superfície terrestre. Desta maneira, a cana-de-açúcar é uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos.

2.2 O FÓSFORO (P) COMO NUTRIENTE: IMPORTÂNCIA, DINÂMICA E DISPONIBILIDADE

Em relação a outros macronutrientes, o fósforo é requerido em menor quantidade pelas plantas. Porém, as adubações são elevadas, devido às características apresentadas pelos diferentes tipos de solo, que fazem com que a maior parte do P adicionado se torne indisponível para as plantas. De acordo com Malavolta (2006), é o nutriente que mais limita a produção vegetal no Brasil, sendo um grande desafio a garantia de elevação da disponibilidade desse elemento na solução do solo.

Fundamental no metabolismo das plantas, desempenha importante papel na transferência energética celular, nos processos de respiração e fotossíntese; sendo também componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (GRANT, 2011).

A importância do fósforo para a cana-de-açúcar está relacionada ao fato desse nutriente participar direta e indiretamente de múltiplos processos metabólicos, influenciando desde o desenvolvimento das raízes, perfilhamento, produção de colmos, até as características industriais, como porcentagem aparente de sacarose contida no caldo da cana (pol%), pureza de caldo e clarificação (SOUSA JÚNIOR, 2016). Assim sendo, sua deficiência pode afetar a produtividade e qualidade da cultura, e consequentemente, reduzir a rentabilidade do produtor.

O suprimento adequado de fósforo é essencial desde os estádios iniciais de desenvolvimento da planta. Nestes estádios, limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados, não se recupera posteriormente (GRANT, 2011).

O fósforo na planta, diferentemente do solo, apresenta grande mobilidade, de tal modo que em casos de deficiência, esse nutriente tem a propriedade de mover-se dos tecidos velhos para os mais novos. Informação que se faz importante na avaliação visual de sintomas característicos de ocorrência de deficiência de fósforo nos tecidos vegetais da cana (TOMAZ, 2009).

As rochas fosfáticas são as principais fontes de P empregadas para produzir os diferentes tipos de adubos fosfatados. Os fosfatos têm como origem principal as rochas sedimentares, e em menor quantidade rochas ígneas. No Brasil, as principais

reservas existentes são constituídas de rochas de origem ígnea, em geral associadas a processos de alteração intempérica, que apresentam baixos teores de fósforo disponível (BONILLA, 2015).

As formas de P no solo se distinguem em três frações, relacionadas à sua biodisponibilidade, sendo, o fósforo em solução, o fósforo lábil e o fósforo não-lábil. Em equilíbrio com as formas lábeis da fase sólida, o teor de P em solução geralmente é baixo e representa muito pouco para as necessidades das plantas. Tal equilíbrio é decorrente da dessorção e dissolução do fosfato lábil, repondo constantemente o fósforo absorvido da solução pelas raízes. O P não-lábil (maior porção do P inorgânico do solo), apenas vagarosamente pode retornar às formas lábeis. De maneira que, o que se procura determinar na análise de solo para fins de adubação é o somatório do P-solução e P-lábil (P disponível). O P não-lábil corresponde aos compostos fosfatados mais complexos e estáveis (RAIJ, 1991).

O fósforo inorgânico (P_i) quando liberado dos fertilizantes passa para a solução do solo e em seguida para a fase sólida, convertendo-se inicialmente em fósforo lábil e, ao longo do tempo em formas não-lábeis, as quais não são passíveis de aproveitamento imediato pelas plantas (P não-disponível) (RESENDE; FURTINI NETO, 2007). O fósforo só é absorvido pelos vegetais na forma de ânions ortofosfatados, predominantemente HPO_4^{2-} e $H_2PO_4^-$ a partir da solução do solo (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999).

A adsorção e precipitação constituem os mecanismos relacionados ao fenômeno genericamente referido como “fixação do fósforo no solo”. Em solos ácidos, muito intemperizados, esse nutriente pode ser removido via adsorção por ligações covalentes com a superfície das argilas e óxidos de Fe/Al. Reações de precipitação com íons Al, Fe e Ca também podem ocorrer, indisponibilizando o P fornecido na adubação. Esse pode ainda, passar a fazer parte de compostos orgânicos associados ao conteúdo de matéria orgânica do solo (P orgânico), ocorrendo em teores variáveis (RAIJ, 1991; NOVAIS; SMYTH, 1999).

Como essas características são peculiares aos solos das regiões tropicais, onde o clima é muito favorável ao cultivo da cana-de-açúcar, uma vez liberado em solução, o P proveniente dos fertilizantes tende a sofrer fixação e como consequência, passa a fazer parte de compostos de baixa solubilidade, ficando menos disponível à absorção pelo sistema radicular. Deste modo, apesar da exigência de fósforo pelas plantas não ser elevada, a eficiência da adubação fosfatada é muito baixa, assim

grandes quantidades do nutriente são fornecidas nas adubações para conseguir suprir as necessidades das plantas (RESENDE; FURTINI NETO, 2007). De acordo com Vance (2001), mesmo aplicando a dose adequada, apenas cerca de 20% do P é assimilado pelas plantas no primeiro ano de cultivo, o que contribui para o acúmulo desse elemento (na forma indisponível) em solos intensivamente cultivados.

Dessa maneira, em razão da sua dinâmica no solo, o fósforo é, dentre os nutrientes para as plantas, o mais limitante nos solos tropicais e subtropicais (RAIJ, 1991; NOVAIS *et al.*, 2007). Entretanto, Goldstein, Rogers e Mead (1993) estimaram que a quantidade de fósforo acumulado nos solos agrícolas seria suficiente para manter a produção agrícola mundial pelos próximos 100 anos sem o acréscimo de fósforo extra, se o fósforo que foi aplicado e fixado pudesse ser aproveitado pelas culturas.

2.3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS

A expressão “Revolução Verde” foi criada em 1966 em uma conferência em Washington, por William Gown, no momento em que vários países em desenvolvimento aumentaram significativamente sua produção agrícola (FRANCISCO, 2017). Meio século depois, surge um momento de transição, chamado de “Microrevolução verde” (HUNGRIA, 2016), em que a utilização de BPCPs deve ser cada vez mais estudada, devido à importância desses microrganismos para as plantas.

As BPCPs são microrganismos endofíticos ou epifíticos, capazes de colonizar raízes, tecidos internos de órgãos vegetais, além de rizosfera e filosfera de plantas, e que não têm capacidade de causar danos à planta hospedeira (AZEVEDO; ARAÚJO, 2007).

Esses microrganismos benéficos estimulam o crescimento vegetal de diversas maneiras, sendo as mais pertinentes: capacidade de fixação biológica de nitrogênio; aumento na atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas (CASSÁN *et al.*, 2008); produção de fitohormônios como auxinas, citocininas (TIEN; GASKINS; HUBBELL, 1979), giberilinas (BOTTINI *et al.*, 1989), etileno (STRZELCZYK; KAMPER, 1994) e uma gama de outras biomoléculas (PERRIG *et al.*, 2007); atuação como agente de controle biológico à fitopatógenos (CORREA *et al.*, 2008), aumento do crescimento radicular com reflexos positivos na absorção de água e nutrientes (VENDAN *et al.*, 2010) e solubilização de fosfato (MARRA *et al.*, 2011).

De acordo com Machado (2015), os mecanismos envolvidos na promoção do crescimento vegetal podem ser classificados de duas maneiras, os mecanismos diretos, como a produção de substâncias ou metabólitos análogos à hormônios vegetais, e os mecanismos indiretos, como antagonismo contra fitopatógenos pela produção de moléculas bioativas sintetizadas pelo microrganismo antagônico. As principais BPCPs encontram-se nos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Streptomyces*, *Acetobacter*, *Herbaspirillum*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, entre outros (MARIANO *et al.*, 2004).

Trabalhos na literatura demonstraram que, o maior desenvolvimento do sistema radicular pela inoculação com *Azospirillum* pode implicar em vários outros efeitos nos vegetais, como no caso em que Bashan, Holguin, De-Bashan (2004) observaram incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em plantas mais vigorosas e produtivas. Barassi *et al.* (2008) relataram melhoria em parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo o teor de clorofila e condutância estomática, maior teor de prolina na parte aérea e raízes, melhoria no potencial hídrico, incremento no teor de água do apoplasto, maior elasticidade da parede celular, maior produção de biomassa e maior altura de plantas.

Tem-se verificado que áreas de pastagem com gramíneas e cana-de-açúcar têm mantido níveis razoáveis de produtividade sem aplicação de fertilizantes nitrogenados, o que indica que esse fenômeno poderia estar relacionado com a contribuição da FBN, por microrganismos endofíticos (MOREIRA *et al.*, 2010). Schultz *et al.* (2012), trabalhando com um coquetel de bactérias diazotróficas (BPCPs capazes de fixar nitrogênio atmosférico) em cana-de-açúcar, observaram que a inoculação promoveu incremento de desenvolvimento e produtividade similar à adição de 120 kg ha⁻¹ de N (via fertilizante) à variedade RB867515.

Suman *et al.* (2008), trabalhando com cana-de-açúcar na Índia, verificaram que as variedades com maior número de bactérias diazotróficas apresentaram maior potencial de fixação biológica de nitrogênio (FBN), além de, quando submetidas à metade da dose recomendada de fertilizante nitrogenado, atingiram produtividade similares aos de plantas que receberam a dose completa. De forma semelhante, Oliveira *et al.* (2006) constataram que a inoculação da cana-de-açúcar, cultivada em solos de baixa fertilidade, promoveu produtividade similar às de áreas que receberam fertilizantes nitrogenados. Dessa forma, observa-se a importância de tais bactérias

benéficas não só na promoção do crescimento vegetal, mas também na redução da dose de alguns fertilizantes no ciclo de produção de determinadas culturas.

A respeito do biocontrole de fitopatógenos, os mecanismos que as BPCPs apresentam para controle estão relacionados à concorrência por um nicho ecológico ou substrato, produção de aleloquímicos inibidores e indução de resistência sistêmica na planta hospedeira (COMPANT *et al*, 2005). Quando ocorre disputa por nutrientes e as bactérias biocontroles são mais eficientes, elas dificultam o desenvolvimento do patógeno; como ocorre no caso da disputa por ferro na rizosfera, em que as BPCP produzem sideróforos de alta afinidade Fe^{3+} que sequestram ferro da rizosfera, tornando-o menos disponível para alguns microrganismos patogênicos (LOPER, HENKELS, 1999).

As bactérias do gênero *Pseudomonas* conferem resistência a doenças nas plantas, principalmente em cana-de-açúcar e tomateiro, ainda podem sintetizar sideróforos em condições de limitação do ferro, sendo um fator que induz expressão gênica em genes envolvidos na síntese de sideróforos (SANTOYO; OROZCO-MOSQUEDA; GOVINDAPPA, 2012).

As *Pseudomonas* são consideradas o grupo mais promissor de rizobactérias no crescimento de plantas envolvendo o controle biológico das doenças em vegetais, além disso, ainda são capazes de produzir metabolitos secundários como antibióticos, fitohormônios, compostos voláteis, e sideróforos; sendo assim, a habilidade dessas bactérias em promover o crescimento de plantas está relacionada principalmente ao fato desses organismos produzir o AIA e outros compostos importantes (SIVASAKTHI, USHARANI; SARANRAJ, 2014).

Em cana-de-açúcar, Viswanathan e Samiyappan (2007) notaram que *Pseudomonas* spp. tem apresentado antagonismo ao patógeno da podridão vermelha, causada pelo fungo *Colletotrichum falcatum*, devido à indução da resistência sistêmica estimulada por essa BPCP, na planta. Araujo (2008), inoculando *Bacillus subtilis* em sementes de milho, algodão e soja, verificou que a inoculação da bactéria proporcionou aumento da emergência de plântulas de algodão e soja, e também representativo aumento na matéria seca da parte aérea das plantas de milho.

Ressalta-se ainda que o *B. subtilis*, além de produzir substâncias voláteis com atividade antifúngica, quando foi aplicado em solo infestado por nematóides (*Meloidogyne* spp.), em casa de vegetação, promoveu maior crescimento, massa seca de parte aérea e controle biológico de tal patógeno na cultura da cana-de-açúcar

(CARDOZO, 2009). Ainda, em estudo de campo realizado com *B. subtilis*, para combate de nematóides nas raízes da cana-de-açúcar, apresentou resultado eficiente, similar ao tratamento químico com carbofurano (MORGADO *et al.*, 2015).

2.4 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO POR ALGUMAS BPCPs

Microrganismos benéficos também podem promover o crescimento vegetal por meio da solubilização de nutrientes pouco disponíveis para as plantas, como o P, por exemplo. Bactérias solubilizadoras de fosfato facilitam a conversão das formas inorgânicas de P pouco solúveis e do P da matéria orgânica do solo, tornando-as disponíveis para absorção radicular, por meio de mecanismos como a secreção de ácidos orgânicos e fosfatases (CASSETARI, 2015).

Alguns gêneros de BPCPs, como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Azobacter*, *Enterobacter*, *Gluconoacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, são capazes de solubilizar diferentes formas de fosfatos (RODRÍGUEZ *et al.* 2004; SARAVANAN *et al.*, 2008; ALMETHYEB *et al.*, 2013), tendo potencial para aumentar o aproveitamento do P presente na fase sólida do solo, constituindo-se em alternativas viáveis para inoculação de plantas.

No entanto, vale ressaltar que os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* são considerados os mais eficientes solubilizadores de fosfatos inorgânicos (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999), o que justifica o estudo destas bactérias promotoras de crescimento no presente trabalho. Panhwar *et al.* (2011), inoculando *Bacillus* sp. em arroz de sequeiro, em casa de vegetação, observaram aumento da biomassa das plantas e do P foliar. Cong *et al.* (2011), inoculando *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis* em arroz irrigado, relataram incremento da produção de grãos e de colmos na cultura.

De acordo com Bonilla (2015), as bactérias mobilizadoras de fosfato, além de solubilizar fósforo inorgânico (Pi), também mineralizam P orgânico (Po) através da produção de enzimas como as fosfatases (ácidas e alcalinas) e fitases, e facilitam a translocação do fosfato à planta (OWEN *et al.*, 2015). Entretanto, ainda não se conhece o efeito da aplicação de fontes de P sobre a microbiota do solo e sobre a disponibilidade do P, nem se sabe se a eficiência do fertilizante pode ser aprimorada com o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (BONILLA, 2015).

A inoculação de microrganismos solubilizadores de P pode alterar as propriedades da rizosfera. Ramesh *et al.* (2014) relataram que o aumento da atividade

das fosfatases ácidas e alcalinas, ao inocular *Bacillus* sp. sugere que tais bactérias solubilizadoras são importantes no ciclo do fósforo orgânico presente no solo.

Chaves, Zucareli e Oliveira Júnior (2013), verificaram que a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* associada ao superfosfato triplo promoveu aumento na altura da inserção da espiga e altura de plantas. Enquanto, Zamariolli (2016) relatou que a inoculação das sementes de milho com *Pseudomonas fluorescens* proporcionou maior diâmetro da espiga e número de fileira de grãos quando associada à apatita como fonte de fósforo e maior número de grãos por espiga. Adesemoye, Obini e Ugoji (2008) relataram que *Pseudomonas* sp. aumentou a matéria seca de diversos vegetais, o que pode ser atribuído a maior disponibilidade de fosfato mineral, produção de sideróforos e síntese de metabólitos.

Em experimentos conduzidos a campo durante dois anos, Billah e Bano (2015) observaram que a inoculação de *Pseudomonas* sp. aliada à aplicação de composto enriquecido com rocha fosfática, como fonte de fósforo, igualou a produtividade e o acúmulo de P na parte aérea de plantas de trigo comparado com o tratamento mineral (superfosfato simples). Esses autores ainda demonstraram que a inoculação dessa bactéria juntamente com a rocha fosfática aumentou em 40% o fósforo disponível extraído por meio da solução Mehlich-3. Kaur e Reddy (2014), trabalhando com cereais, relataram que a inoculação de bactérias solubilizadoras de P como *Pseudomonas plecoglossicida* aumentou significativamente a produção de grãos e o acúmulo de P nos grãos, parte aérea e raiz das culturas de milho e trigo.

A utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato tem sido sugerida como alternativa para substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfatados solúveis, reduzindo as perdas de P pelo processo de fixação no solo e mantendo, de forma mais eficiente, sua disponibilidade para o crescimento de plantas (VESSEY, 2003). Aliado ao estudo das interações microrganismo-microrganismo e microrganismos-planta, permite a exploração para o aumento na produtividade agrícola e industrial, além de uma melhor compreensão da ecologia ambiental e microbiana (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da inoculação com três bactérias promotoras de crescimento (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*) aplicadas isoladamente ou combinadas, associadas a doses reduzidas de fósforo, na cultura da cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª cana-soca), variedade RB 92579.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos dos tratamentos com BPCPs (em ambos os cultivos de cana-de-açúcar) associada a adubação fosfatada aplicada em cana-planta e do residual desta na 1ª cana-soca sobre:

- Atributos químicos do solo, incluindo as frações de fósforo no solo (P-total e P-disponível);
- Estado nutricional, acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas), no colmo e total (parte aérea: colmo + palhada) das plantas de cana-de-açúcar;
- Características produtivas e componentes biométricos da cana-de-açúcar; e
- Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E HISTÓRICO DE MANEJO

O experimento foi desenvolvido nas safras 2017/18 (cana-planta) e 2018/19 (cana-soca), na Fazenda Limoeiro, localizada no município de Ilha Solteira – SP, em área pertencente à uma usina de açúcar e álcool da região. A área está situada nas seguintes coordenadas geográficas: latitude 20°21'14" S e longitude 51°04'51" W, com altitude de 371 m, sendo anteriormente cultivada (nos últimos 10 anos) com pastagem de *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*), que se encontrava degradada.

O solo é um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média-arenosa, classificado de acordo com critérios estabelecidos pelo SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018), correspondendo a um Rhodic Haplustox segundo a Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014), com granulometria de 777, 98, 125 g kg⁻¹ e 747, 88, 165 g kg⁻¹ de areia, silte e argila nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m, respectivamente. A caracterização dos atributos químicos do solo foi determinada antes da implantação do experimento, de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) e, encontram-se na Tabela 1. Observa-se que o teor P disponível estava muito baixo.

Tabela 1-Caracterização química inicial do solo antes da implantação do experimento. Ilha Solteira - SP, 2017.

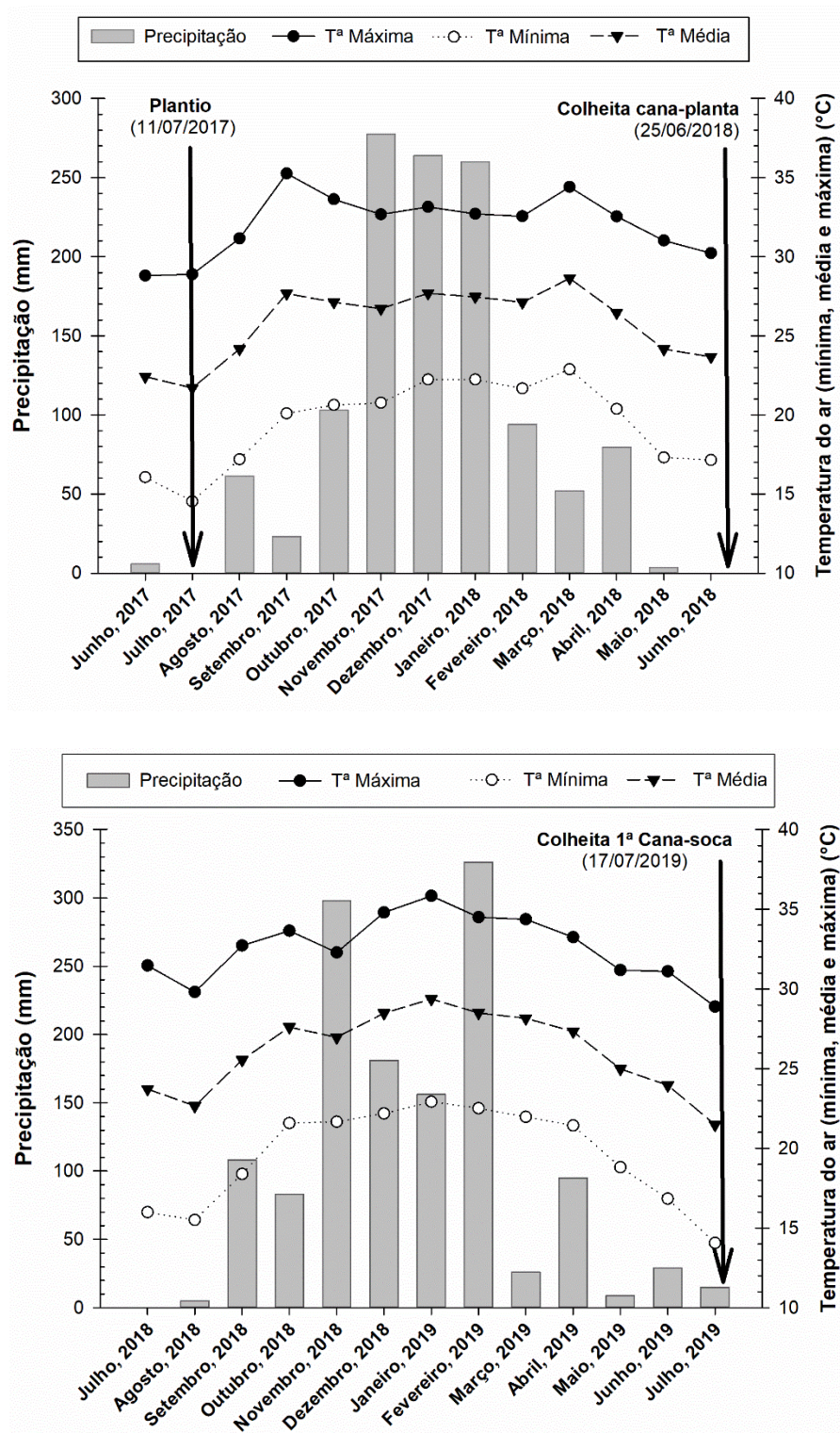
Camadas	P resina	S-SO ₄	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
(m)	-----mg dm ⁻³ -----		g dm ⁻³	CaCl ₂				-----mmol _c dm ⁻³ -----		
0,00-0,25	2	3	13	4,7	2,6	8	6	20	1	16,6
0,25-0,50	2	2	12	4,8	2,4	9	7	20	2	18,4
Camadas	B ^a	Cu ^b	Fe ^b	Mn ^b	Zn ^b	CTC	V	m		
(m)	-----mg dm ⁻³ -----					mmol _c dm ⁻³	%	%		
0,00-0,25	0,22	0,8	14	16,2	0,6	36,6	45	6		
0,25-0,50	0,22	1,0	7	8,3	0,3	38,4	48	10		

^a Determinado em água quente, ^b Determinado em DTPA (dietilenotriaminopentaacético). MO: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, m: saturação por Al. Análise realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FEIS. Fonte: Elaboração da própria autora.

O clima da região é classificado como Aw de acordo com a escala de Köppen, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os

dados climáticos referentes ao período de condução do experimento foram registrados e são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento. Ilha Solteira - SP.



Fonte: Elaboração da própria autora (a partir de dados fornecidos pela estação meteorológica da usina).

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado, tanto em cana-planta como na 1ª cana-soca, foi o de blocos ao acaso com três repetições, dispostos em esquema fatorial 8 x 5, sendo oito inoculações, conforme descrito abaixo:

1. Sem inoculação (testemunha);
2. Inoculação com *Azospirillum brasilense*;
3. Inoculação com *Bacillus subtilis*;
4. Inoculação com *Pseudomonas fluorescens*;
5. Inoculação com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis*;
6. Inoculação com *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*;
7. Inoculação com *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*;
8. Inoculação com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*;

e cinco doses de fósforo por ocasião do plantio (0, 45, 90, 135, 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅), correspondendo à 0, 25, 50, 75 e 100% da dose recomendada por Raij e Cantarella (1997) para essa cultura, na forma de superfosfato triplo (46% de P₂O₅). As parcelas constituíam-se de 5 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 1,5 m, considerando como área útil apenas as três linhas centrais de cada parcela.

4.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO (CANA-PLANTA E CANA-SOCA)

4.3.1 Cana-planta

Após caracterização inicial do solo 15 dias antes do plantio, foi realizado o preparo do perfil do solo com auxílio de três gradagens e uma subsolagem, aplicação de calcário dolomítico (PRNT 85%) visando obter 60% de saturação por bases, e gesso agrícola para elevar o teor de enxofre (S) que se encontrava baixo, conforme recomendado por Raij *et al.* (1997) para a cultura da cana-de-açúcar. Antes do plantio foi realizada a sulcação do solo a 0,40 m de profundidade para distribuição dos colmos e aplicação do inseticida fipronil (180 g ha⁻¹ do ingrediente ativo - i.a.) + fungicida piraclostrobina (125 g ha⁻¹ do i.a.) no sulco de plantio.

O sistema de plantio adotado foi o manual, em que no dia 11/07/2017, os colmos de cana-de-açúcar foram distribuídos (pé com ponta) e seccionados dentro

dos sulcos de plantio, contendo cerca de 22 gemas por metro de sulco.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 92579, desenvolvida em 2003 pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético - RIDESA, e atualmente está entre as três variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no Brasil. Possui ciclo de maturação médio-tardio e tolerância às principais doenças (mosaico, escaldadura-das-folhas, carvão, ferrugem, estrias vermelhas e falsas estrias vermelhas). Apresenta alto índice de perfilhamento e brotação de soqueira, rápida recuperação ao estresse hídrico (seca), elevado teor de sacarose e de açúcar total recuperável (ATR) (RIDESA, 2010; BRAGA JUNIOR *et al.*, 2021).

Na adubação de plantio, além das respectivas doses de P_2O_5 de cada tratamento no sulco de plantio, aplicou-se 30 kg ha^{-1} de N (fonte nitrato de amônio) e 120 kg ha^{-1} de K_2O (fonte cloreto de potássio), igualmente para todos os tratamentos, baseada na análise do solo e na expectativa de produtividade (RAIJ *et al.*, 1997), e conforme a adubação utilizada pela própria usina.

Para as inoculações foram utilizadas as seguintes doses de inoculantes líquidos: $1,0\text{ L ha}^{-1}$ para *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6, com garantia de 2×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL^{-1}); $0,5\text{ L ha}^{-1}$ para *Bacillus subtilis* (estirpe CCTB04, com garantia de 1×10^8 UFC por mL^{-1}) e $0,5\text{ L ha}^{-1}$ para *Pseudomonas fluorescens* (estirpe CCTB03, com garantia de 2×10^8 UFC por mL^{-1}), com base na recomendação do fabricante. O volume de calda foi de 200 L ha^{-1} (o mesmo para as três bactérias), aplicada por pulverização com pulverizador lateral manual (capacidade de 5 L), em cana-planta no sulco de plantio no final da tarde, devido à temperatura mais amena.

Os sulcos foram cobertos com cobridor mecânico, após aplicação das bactérias (tratamentos). Devido à ausência de precipitação pluvial no período de implantação do experimento, foi realizada a irrigação por aspersão da área experimental (lâmina d'água de 30 mm) nos cinco primeiros dias após o plantio da cana-de-açúcar.

Na fase de perfilhamento da cana-de-açúcar (aos 123 DAP - dias após o plantio), todas as parcelas foram adubadas via solo com 5 kg ha^{-1} de Zn, na forma de sulfato de zinco, devido ao baixo teor do micronutriente no solo ($< 0,5\text{ mg dm}^{-3}$) (RAIJ *et al.*, 1997), e ao fato desta pesquisa ter como principal fator de variação a adubação fosfatada. Vale lembrar que o excesso de fosfato pode induzir a deficiência de Zn por antagonismo não competitivo, em que o fosfato pode reagir com zinco e precipitá-lo, tornando-se menos solúvel para absorção pelas plantas.

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado de acordo com a necessidade da cultura ao longo do ciclo. Foram aplicados em pré-emergência (24 DAP) os herbicidas Hexazinona (320 g ha^{-1} do i.a.) + 2,4 D (967 g ha^{-1} do i.a.) + Tebuthiuron (1000 g ha^{-1} do i.a.). Aos 110 DAP, na operação de quebra-lombo, foram aplicados 2,4 D ($967 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) + Amicarbazona ($840 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$) + S-Metolacoloro ($2400 \text{ g do i.a. ha}^{-1}$). Aos 101 e 199 DAP foram aplicados os inseticidas Clorantropilprole (10 g ha^{-1} do i.a.) + Lambda-cialotrina (5 g ha^{-1} do i.a.). Visando o controle biológico da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), foram realizadas ao longo do ciclo 4 liberações de *Trichogramma galloi* (142, 148, 213 e 220 DAP, respectivamente) e 1 liberação de *Cotesia flavipes* (192 DAP).

Aos 301 DAP foi feita a aplicação do maturador Trinexapaque-Etílico (275 g ha^{-1} do i.a.), com objetivo de induzir a cana a acumular sacarose. A colheita da cana-planta foi realizada manualmente em 25/06/2018, aos 349 DAP.

4.3.2 Cana soca

Na rebrota da cana-de-açúcar (1ª cana-soca), não se aplicou nenhum fertilizante fosfatado ou fonte de fósforo, visando-se o aproveitamento do residual do adubo fosfatado aplicado à cana-planta pela 1ª cana-soca. Dessa forma, optou-se pela formulação 20-00-20 (625 kg ha^{-1}), comumente utilizada pela usina, para realizar a adubação de rebrota, fornecendo com essa quantidade o equivalente a 125 kg ha^{-1} de N e 125 kg ha^{-1} de K_2O para todos os tratamentos, baseado na expectativa de produtividade e manejo adotado pela usina. Tal adubação foi realizada em solo relativamente úmido, somente aos 113 DAC – dias após a colheita da cana-planta (em 16/10/2018), devido ao atraso na rebrota da cana-soca motivada pela escassez hídrica durante o período. Ocorreu a maior seca histórica dos últimos 30 anos, ficando sem chuva maior que 10 mm por 165 dias (de 02/04/2018 até 13/09/2018) na região.

Ainda aos 113 DAC, as bactérias foram aplicadas em cana-soca via jato dirigido na base da planta (soqueira), empregando-se as mesmas doses de inoculantes e calda usados na cana-planta, no início da manhã devido à temperatura mais amena.

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças para cana-soca também foi realizado conforme a necessidade da cultura, seguindo o manejo que é realizado pela própria usina. Para o controle de plantas daninhas, foram aplicados aos 25 DAC os herbicidas Hexazinona (320 g ha^{-1} do i.a.) + 2,4 D (967 g ha^{-1} do i.a.) + Tebuthiuron

(1000 g ha⁻¹ do i.a.). Aos 102 DAC os herbicidas 2,4 D (967 g do i.a. ha⁻¹) + Amicarbazona (840 g do i.a. ha⁻¹) + S-Metolaclopro (2400 g do i.a. ha⁻¹) e aos 277 DAC os herbicidas Clomazona (1080 g do i.a. ha⁻¹) + 2,4 D (967 g do i.a. ha⁻¹). Para o controle de pragas, aos 116 e 157 DAC foram aplicados os inseticidas Clorantianiliprole (10 g ha⁻¹ do i.a.) + Lambda-cialotrina (5 g ha⁻¹ do i.a.). Aos 162 DAC aplicou-se o inseticida Tiametoxam (250 g ha⁻¹ do i.a.) para cigarrinha e aos 214 DAC o inseticida Flubendiamida (48 g ha⁻¹ do i.a.) para *Diatraea saccharalis*. Como controle biológico de broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), empregou-se 1 liberação de *Cotesia flavipes* na área aos 273 DAC.

Foi realizada a aplicação do maturador Trinexapaque-Etílico (275 g ha⁻¹ do i.a.) aos 337 DAC, 50 dias antes da colheita. Dessa forma, a colheita da cana-soca foi realizada manualmente em 17/07/2019, aos 387 DAC.

4.4 AVALIAÇÕES NO SOLO

As avaliações realizadas foram as seguintes:

- a) Atributos químicos do solo:** posterior à colheita da cana-planta e cana-soca foram coletadas na linha de plantio quatro amostras simples de solo por parcela experimental, com auxílio de trado de rosca, formando uma amostra composta, nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m. As amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA), para determinação dos teores de K, Ca, Mg, S-SO₄, B, Cu, Fe, Mn, Zn, matéria orgânica (MO), pH, Al, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por Al (m%), de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001).
- b) Teor de P-disponível no solo às plantas (P-lábil + P-solução):** determinado juntamente com os atributos do item acima, nas mesmas amostras de solo, utilizando a mesma metodologia (Raij *et al.*, 2001).
- c) Teor de P-total no solo:** foi determinado antes do plantio da cana-de-açúcar (em área total) e logo após a colheita da cana-planta (em todas as parcelas experimentais). Foram coletadas na linha de plantio quatro amostras simples, com auxílio de trado de rosca, formando uma amostra composta, nas camadas de 0,00-

0,25 e 0,25-0,50 m. As amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm (TFSA). Posteriormente, foram encaminhadas ao Departamento de Ciência do Solo da Esalq-USP, onde o P-total foi determinado conforme metodologia proposta por Olsen e Sommers (1982) adaptada por Gatiboni (2003), através de digestão ácida com H_2SO_4 , H_2O_2 e solução saturada de $MgCl_2$, e então analisado por espectrofotometria a 882 nm, de acordo com metodologia de Murphy e Riley (1962).

d) NMP – número mais provável de bactérias associativas na rizosfera da cana-de-açúcar (*Azospirillum* sp., *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*): em cana-planta aos 102 DAP, foram coletadas duas amostras de solo por parcela experimental, por meio da abertura de trincheiras, na profundidade de 0,40 m (rizosfera - próximo ao tolete, mas sem danificá-lo), para determinação/quantificação do número mais provável de bactérias associativas, as quais foram devidamente acondicionadas e encaminhadas ao IFRO (Câmpus de Colorado do Oeste) e analisadas de acordo com as metodologias a seguir. Para o gênero *Azospirillum* sp., foram utilizadas as metodologias descritas por Döbereiner, Baldani e Baldani (1995) e Baldani, Reis e Videira (2014). Para determinação da espécie *Bacillus subtilis* foi utilizada metodologia descrita por Leuschner e Bew (2003). Por último, para a determinação da espécie *Pseudomonas fluorescens*, foi utilizada a metodologia descrita por King, Ward e Raney (1954).

4.5 AVALIAÇÕES NA PLANTA (CANA-PLANTA E CANA-SOCA)

4.5.1 Análises nutricionais e massa seca

As avaliações realizadas foram as seguintes:

a) Índice de clorofila foliar (ICF): foi determinado indiretamente no terço médio da folha +1 (folha mais alta com colarinho visível -“TVD”) (RAIJ; CANTARELLA, 1997), entre a nervura central e a borda do limbo foliar, em cinco plantas por parcela por meio de leituras realizadas no período da manhã com auxílio de um clorofilômetro digital portátil, marca ClorofiLOG®, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola®), que por meio de sensores, analisa duas faixas de frequência de luz e pelas relações de

absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teor de clorofila total, expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). As leituras foram realizadas em três épocas ao longo do ciclo da cana-planta (102, 195, 283 DAP) e em duas épocas ao longo do ciclo da 1ª cana-soca (164, 220 DAC).

- b) *Concentração de nutrientes na folha diagnose*: na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cultura (cana-planta aos 195 DAP e 1ª cana-soca aos 220 DAC), foram coletados em 15 plantas por parcela o terço médio de 15 folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível -"TVD"), excluindo-se a nervura central (RAIJ; CANTARELLA, 1997), da área útil de cada parcela. Foram então submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65°C por 72 horas, e posteriormente moídas em moinho tipo Wiley para efetuar as digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), para determinação das concentrações de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foliar, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).
- c) *Concentração de Nitrato e Amônio na folha diagnose*: nas mesmas amostras foliares mencionadas acima, foram determinadas as concentrações de nitrato (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+) foliar, de acordo com metodologia proposta por Silva (2009).
- d) *Massa seca da palhada (ponteiro + folhas), massa seca dos colmos e massa seca total da parte aérea (colmo + palhada) no final do ciclo*: no final de cada ciclo da cultura (349 DAP para cana-planta e 387 DAC para cana-soca), foram coletadas cinco plantas representativas por parcela, sendo em seguida separados colmo e palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, pesados e reduzidos em sub amostras, então colocados para secar em estufa com circulação de ar forçada, com temperatura média de 65°C, por 72 horas. Em seguida, após a secagem desses materiais amostrados, realizou-se nova pesagem. Os dados de massa seca foram então extrapolados para kg ha^{-1} , levando em conta também o número de colmos industrializáveis por metro (número de perfilhos por metro da época 4).

e) *Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas), no colmo e na parte aérea total (colmo + palhada) no final do ciclo*: as mesmas amostras mencionadas acima foram fragmentadas em partes menores e moídas separadamente, em moinho tipo Wiley, para realização das digestões das amostras (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), e então determinadas as concentrações de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) separadamente no colmo e na palhada da cana-de-açúcar, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A partir desses dados de concentração nutricional de cada parte da planta e, levando em consideração também os valores de massa seca, calculou-se o acúmulo de nutrientes no colmo, na palhada (ponteiro + folhas) e parte aérea (colmo + palhada) no final do ciclo, expressos em kg ha^{-1} .

4.5.2 *Análises biométricas da cana-de-açúcar*

As avaliações realizadas foram as seguintes:

- a) *Número de perfilhos por metro*: foram obtidos contando-se a quantidade de perfilhos presentes em três linhas de 5 m de comprimento da área útil das parcelas. Ao longo do ciclo da cana-planta, foram realizadas contagens em quatro épocas (102, 195, 283, 349 DAP) e na 1ª cana-soca também em quatro épocas (164, 277, 366, 387 DAC). Vale ressaltar que, no presente trabalho para o número de perfilhos, a última época de cada ciclo da cana-de-açúcar (época 4) representa o número de colmos industrializáveis por metro.
- b) *Altura de plantas*: foram mensuradas em cinco plantas representativas por parcela com o auxílio de réguas graduadas do nível do solo até a primeiro colarinho visível, classificada como folha +1, em quatro épocas ao longo do ciclo da cana-planta (102, 195, 283, 349 DAP) e três épocas na 1ª cana-soca (164, 277, 366 DAC).
- c) *Diâmetro do colmo*: foi determinado com auxílio de um paquímetro, através da média dos diâmetros da base, do meio e da ponta de três colmos industrializáveis, por ocasião da colheita da cana-planta e cana-soca.

- d) *Número de internódios por colmo*: foram avaliados em três colmos industrializáveis, pela contagem do número de internódios presentes naqueles colmos, por ocasião da colheita da cana-planta e cana-soca.
- e) *Produtividade de colmos ou TCH*: foi obtida através da colheita manual e pesagem dos colmos (já retirados ponteiros e folhas) presentes nas três linhas centrais da área útil de cada parcela, aos 349 DAP para cana-planta e aos 387 DAC para cana-soca. Após quantificados, os dados foram extrapolados para $t\ ha^{-1}$.

4.5.3 Indicadores da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Foram separados, por ocasião da colheita de cada ciclo da cultura, 10 colmos industrializáveis por parcela (isso após a realização da pesagem da produtividade). Em seguida, essas amostras foram destinadas ao Laboratório de Análises Tecnológicas da usina em questão, para realização das análises de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, conforme o Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP, 2006).

As análises realizadas em cana-planta e 1ª cana-soca foram as seguintes: fibra da cana (%), brix da cana (%), pureza do caldo (%), POL do caldo (%), pol da cana – PC (%), açúcares redutores do caldo - AR (%) e açúcares totais recuperáveis da cana - ATR (kg de açúcar t^{-1} de cana). Com base nesses resultados, calculou-se a produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar ou produtividade de açúcar - TAH ($t\ ha^{-1}$), obtida através da multiplicação da produtividade de colmos ($t\ ha^{-1}$) pela % de PC.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para comparação das médias das inoculações com BPCPs e, ajustadas as equações de regressão para o efeito das doses de P_2O_5 . As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011). Os gráficos foram plotados com auxílio do software SigmaPlot 12.5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLIMA

Ao longo do período de condução do experimento, o volume de chuva acumulado para todo o ciclo da cana-planta (julho 2017/junho 2018) foi de 1223,6 mm, de modo que, mais de um terço (464,9 mm) deste total ocorreu no início do ciclo da cultura (quatro primeiros meses) nas fases de brotação e perfilhamento (Figura 1). A temperatura média anual foi de 25,6 °C, com os extremos de temperatura (médias mensais) variando entre mínima de 14,5 °C no inverno (julho) e máxima de 35,3 °C na primavera (setembro). A menor temperatura (dados diários) registrada ao longo do ciclo da cana-planta foi de 8,3 °C no inverno (julho) e a maior de 40,3 °C na primavera (outubro). A grande disponibilidade de água devido às frequentes precipitações nos meses de novembro, dezembro e janeiro, associada à ocorrência de temperaturas elevadas contribuíram para o adequado desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar no 4º, 5º e 6º mês do ciclo.

Durante todo o ciclo da cana-soca (junho 2018/julho 2019), a precipitação acumulada foi de 1331 mm, visto que, nos quatro primeiros meses de ciclo (após o corte da cana-planta) o acúmulo de chuva foi de apenas 196 mm (Figura 1), o que desencadeou em atraso na brotação da cana-soca. Fato dado por conta do ano de 2018 ter sido atípico, com um período de seca muito prolongado na região, o maior dos últimos 30 anos segundo o Canal Clima da Unesp de Ilha Solteira, ficando 165 dias sem precipitação maior de 10 mm (de 02/04/2018 a 13/09/2018). Dessa maneira, a brotação da cana-soca só se iniciou após a primeira chuva do ciclo (14/09/2018 – 11 mm), e esse atraso inclusive levou a decisão de postergar-se a adubação de rebrota e aplicação de inoculantes na cana-soca, que só aconteceu em 16/10/2018, aos 113 DAC.

A temperatura média anual durante o ciclo da cana-soca foi de 26,1 °C, com os extremos de temperatura (médias mensais) variando entre mínima de 14,1 °C no inverno (julho) e máxima de 35,8 °C no verão (janeiro) (Figura 1). A menor temperatura (dados diários) registrada ao longo do ciclo da cana-soca foi de 5,1 °C no inverno (julho) e a maior de 40,0 °C no verão (dezembro). Embora tenha ocorrido atraso na brotação e perfilhamento, como citado anteriormente, as elevadas temperaturas, fotoperíodo e frequentes precipitações nos meses de novembro a fevereiro auxiliaram

a fase de crescimento de colmos da cana-soca, etapa na qual a planta requer tais condições ambientais para aumentar o diâmetro do colmo e altura.

5.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO (INCLUINDO DE TEOR DE P-DISPONÍVEL NO SOLO ÀS PLANTAS (P-LÁBIL + P-SOLUÇÃO) – CANA-PLANTA

O teor de S no solo foi significativamente influenciado pelo efeito isolado das inoculações com as BPCPs, em ambas as camadas de solo (0,00-0,25 e 0,25-0,50 m) (Tabela 2). No solo, os teores do nutriente foram menores apenas quando as três bactérias foram aplicadas isoladamente. Os maiores incrementos nos teores de S no solo, em relação à testemunha S.I. (sem inoculação), foram observados com a inoculação combinada de Azo+Pseud (*Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*), levando à 27% de incremento na camada de 0,00-0,25 m e 18% de incremento na camada de 0,25-0,50 m. Apesar dos incrementos, não foram observadas diferenças significativas quando procedeu-se a associação de BPCPs, inclusive com a associação tripla.

A matéria orgânica (MO) foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das inoculações, somente na camada de 0,25-0,50 m, de modo que, com a inoculação tripla Azo+Bac+Pseud (*Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*) e a inoculação com Bac+Pseud (*Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*), foram observados maiores teores desse atributo em tal camada de solo, ainda assim, não diferindo da testemunha S.I. (Tabela 2). Na camada de 0,00-0,25 m, embora não influenciada significativamente pelo efeito dos tratamentos, o teor de MO aumentou 21% com a inoculação de Bac (*Bacillus subtilis*), em relação à testemunha S.I.

O pH do solo na camada de 0,25-0,50 m foi influenciado significativamente pelo efeito isolado das inoculações (Tabela 2). Os maiores valores de pH foram observados nas inoculações com Pseud (*Pseudomonas fluorescens*), Azo+Bac (*Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis*) e Azo+Pseud, ainda assim não diferindo da testemunha S.I.

A acidez potencial (H+Al) na camada de 0,25-0,50 m de solo foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das inoculações, de maneira que, os menores valores para esse atributo foram observados nos tratamentos Pseud e S.I. (Tabela 2).

Tabela 2 - Atributos químicos do solo (P, S-SO₄, MO, pH, H+Al e Al) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANÁ-PLANTA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P resina		S-SO ₄		MO		pH		H+Al		Al	
	mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		g dm ⁻³		CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	3,78	1,44	2,88	2,81	16,50	12,81	4,93	4,70	19,63	19,69	1,06	1,50
45	6,56	3,00	3,06	2,88	17,38	12,69	4,97	4,78	19,69	19,88	0,63	1,44
90	7,69	4,38	3,31	3,06	16,31	12,81	4,89	4,71	20,13	20,81	1,00	1,50
135	11,81	4,06	3,38	3,44	15,94	12,38	4,86	4,66	20,25	19,69	0,88	1,44
180	10,69	5,63	3,25	3,56	17,63	12,88	5,04	4,79	18,44	19,81	0,50	1,25
Inoculação												
S.I.	5,50	2,80	3,30 a	3,30 a	15,10 a	13,20 a	5,03 a	4,88 a	18,60 a	18,30 b	0,70	1,20 a
Azo	9,90	4,30	2,40 b	2,30 b	17,60 a	12,20 b	4,88 a	4,61 b	20,60 a	20,70 a	1,10	1,80 a
Bac	6,80	4,80	2,00 b	2,20 b	18,20 a	12,10 b	4,90 a	4,61 b	20,20 a	20,90 a	0,70	1,70 a
Pseud	6,10	4,30	2,70 b	2,60 b	17,20 a	12,20 b	4,95 a	4,79 a	18,50 a	18,60 b	1,00	0,60 b
Azo + Bac	10,70	2,90	3,60 a	3,60 a	17,40 a	12,20 b	4,95 a	4,80 a	19,30 a	20,10 a	1,00	1,50 a
Azo + Pseud	12,40	3,20	4,20 a	3,90 a	17,20 a	12,00 b	4,97 a	4,75 a	19,60 a	19,70 a	0,50	1,40 a
Bac + Pseud	4,75	3,30	3,90 a	3,60 a	16,30 a	13,40 a	4,87 a	4,68 b	20,30 a	21,00 a	0,80	1,60 a
Azo + Bac + Pseud	8,70	4,00	3,30 a	3,70 a	15,00 a	14,40 a	4,96 a	4,69 b	19,90 a	20,50 a	0,70	1,60 a
Erro Padrão	0,20	0,23	0,32	0,28	0,84	0,57	0,06	0,06	0,68	0,56	0,17	0,21
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Inoculação (I)	**	**	**	**	ns	*	ns	*	ns	**	ns	**
D x I	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (5%)	9,32	23,94	14,74 #	28,55	15,85	14,09	3,85	4,28	10,95	8,81	22,55 #	21,05 #
Média geral	8,11	3,70	3,18	3,15	16,75	12,71	4,94	4,73	19,63	19,98	0,81	1,43

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. Fonte: Elaboração da própria autora.

O teor de Al na camada de 0,25-0,50 m foi influenciado significativamente pelo efeito isolado das inoculações, visto que, somente a inoculação com Pseud diferiu das demais, apresentando menor teor (Tabela 2).

Na camada de 0,00-0,25 m de solo, o teor de Al foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 2). Houve ajuste da função quadrática para Azo+Bac até a dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para Azo+Bac+Pseud até a dose de 85 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 3). Pseud e Bac+Pseud se ajustaram a funções lineares decrescente e crescente, respectivamente. Na dose 0 (sem aplicação de fertilizante fosfatado), as inoculações com Bac, Azo+Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud apresentaram menores teores de Al no solo em relação aos demais tratamentos, inclusive a testemunha. Todavia, nas demais doses, todas as inoculações demonstraram teores de Al iguais ou até superiores à testemunha S.I. Entre as doses 45, 90 e 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , ao menos uma das sete inoculações estudadas (exceto Azo+Pseud) apresentaram teores de Al maiores que o da testemunha.

Tabela 3 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para Al no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.

CANNA-PLANTA					
Al (mmol _c dm ⁻³) - camada 0,00-0,25 m					
Inoculação	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	2,00 a	0,00 b	0,50 b	0,50 b	0,50 b
Azo	2,00 a	0,50 b	1,00 b	1,50 a	0,50 b
Bac	0,00 b	1,00 a	1,00 b	0,00 b	1,50 a
Pseud	2,00 a	2,00 a	0,50 b	0,50 b	0,00 b
Azo + Bac	0,50 b	0,50 b	2,00 a	2,00 a	0,00 b
Azo + Pseud	2,00 a	0,00 b	0,50 b	0,00 b	0,00 b
Bac + Pseud	0,00 b	0,00 b	0,50 b	2,00 a	1,50 a
Azo + Bac + Pseud	0,00 b	1,00 a	2,00 a	0,50 b	0,00 b
Erro padrão	0,37				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 .

S.I. (sem inoculação): $y = 0,7$ ^{ns}

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 1,1$ ^{ns}

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 0,7$ ^{ns}

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0122x + 2,1000$ ($R^2 = 0,86^{**}$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = -0,0002x^2 + 0,0360x + 0,1143$ ($R^2 = 0,62^{**}$ e PM = 90 kg ha^{-1})

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 0,5$ ^{ns}

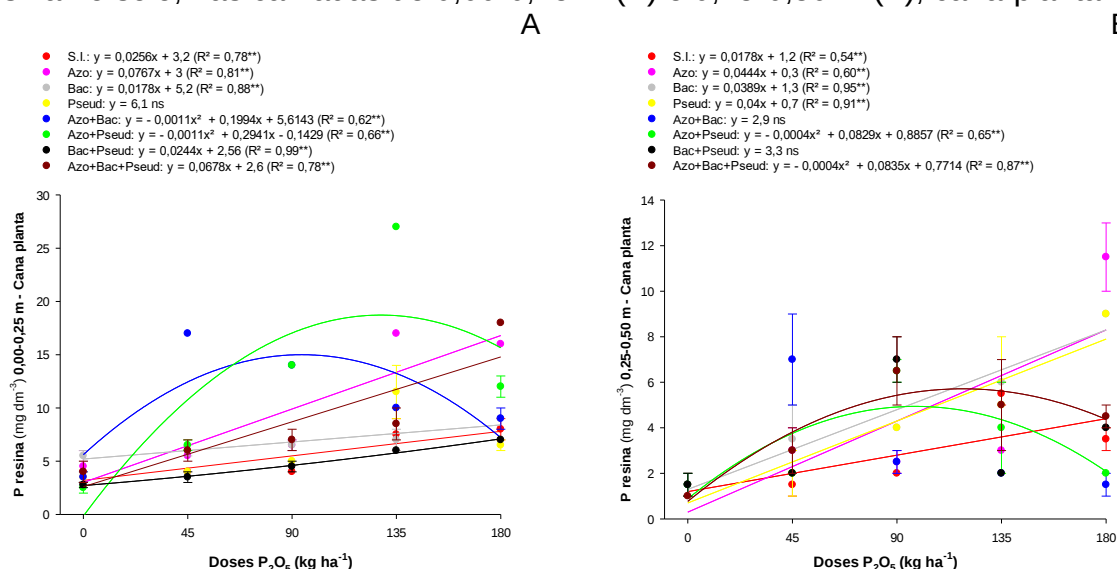
Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 0,0111x - 0,2000$ ($R^2 = 0,76^{**}$)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0002x^2 + 0,0338x + 0,0143$ ($R^2 = 0,78^{**}$ e PM = 85 kg ha^{-1})

Fonte: Elaboração da própria autora.

O P disponível, em ambas as camadas de solo, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 2). Na camada de 0,00-0,25 m, ocorreram ajustes a funções lineares crescentes para S.I., Azo, Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud (Figura 2A). Ajustes quadráticos foram observados para inoculações com Azo+Bac até a dose de 91 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para Azo+Pseud até a dose de 134 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Posto que, na camada de 0,25-0,50 m solo, ocorreram ajustes lineares crescentes para S.I., Azo, Bac e Pseud, e ajustes quadráticos para Azo+Pseud e Azo+Bac+Pseud até a dose de 104 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 2B).

Figura 2 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P resina no solo, nas camadas de 0,00-0,25 m (A) e 0,25-0,50 m (B), cana-planta.



******, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

As médias gerais de P disponível no solo foram de 8,11 e 3,70 mg dm^{-3} nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m, respectivamente (Tabela 2), obviamente superiores aos valores iniciais de P encontrados na análise de caracterização da área experimental (Tabela 1).

Os maiores teores de P disponível em ambas as camadas de solo foram verificados com a inoculação de Azo+Pseud na dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 para a camada de 0,00-0,25 m e, Azo associado à dose de 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 para a

camada de 0,25-0,50 m (Tabela 4); apresentando incrementos de 260 e 229% quando comparados aos teores de P da testemunha S.I., respectivamente.

Tabela 4 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para P resina no solo, nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m, em cana-planta.

CANAL-PLANTA					
P resina (mg dm ⁻³) - camada 0,00-0,25 m					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	4,00 b	4,00 c	4,00 c	7,50 e	8,00 d
Azo	4,50 b	5,50 b	6,50 b	17,00 b	16,00 b
Bac	5,50 a	6,00 b	6,50 b	7,00 f	9,00 d
Pseud	3,50 c	4,00 c	5,00 c	11,50 c	6,50 e
Azo + Bac	3,50 c	17,00 a	14,00 a	10,00 d	9,00 d
Azo + Pseud	2,50 c	6,50 b	14,00 a	27,00 a	12,00 c
Bac + Pseud	2,77 c	3,50 c	4,50 c	6,00 f	7,00 e
Azo + Bac + Pseud	4,00 b	6,00 b	7,00 b	8,50 e	18,00 a
Erro padrão	0,44				
P resina (mg dm ⁻³) - camada 0,25-0,50 m					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	1,50 a	1,50 c	2,00 c	5,50 a	3,50 c
Azo	1,50 a	3,00 b	2,50 c	3,00 b	11,50 a
Bac	1,50 a	3,50 b	4,00 b	6,00 a	9,00 b
Pseud	1,50 a	2,00 c	4,00 b	5,00 a	9,00 b
Azo + Bac	1,50 a	7,00 a	2,50 c	2,00 b	1,50 d
Azo + Pseud	1,50 a	2,00 c	6,50 a	4,00 a	2,00 d
Bac + Pseud	1,50 a	2,00 c	7,00 a	2,00 b	4,00 c
Azo + Bac + Pseud	1,00 a	3,00 b	6,50 a	5,00 a	4,50 c
Erro padrão	0,51				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

Na camada de 0,00-0,25 m solo, com a aplicação de apenas 45 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , o maior valor para teor de P disponível foi muito semelhante ao maior teor obtido quando se aplicou a maior dose em estudo (180 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 - dose comumente utilizada pela usina) (Tabela 4).

Na camada de 0,00-0,25 m solo, a combinação Azo+Bac apresentou maiores teores de P disponível nas menores doses de fertilizantes fosfatado aplicadas (45 e 90 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5), apresentando incrementos de 325 e 250% nos teores em relação a testemunha sem inoculação, respectivamente (Tabela 4, Figura 2A), sendo mais que três e mais que duas vezes maior. A inoculação com Azo+Pseud associada a dose de 90 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 também apresentou incremento de 250% no teor de P disponível, quando comparada a testemunha S.I. É importante observar que, na maior

dose de fósforo aplicada (180 kg ha^{-1} de P_2O_5), quando não se inoculou (S.I.), o teor de P disponível apresentou-se inferior em relação às doses menores e inoculadas, como Azo+Pseud, Bac+Pseud, Azo+Bac+Pseud associadas à dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e Azo+Bac associadas à dose de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 4), o que pode ser um indício da atuação de tais bactérias no aumento da disponibilidade de P para as plantas.

Os teores de MO, pH e H+Al na camada de 0,00-0,25 m de solo, não foram afetados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações (Tabela 2).

O teor de Ca no solo na camada de 0,00-0,25 m foi influenciado significativamente pelo efeito isolado de inoculações, de modo que, as inoculações Bac e Pseud apresentaram os maiores teores desse nutriente, não diferindo da testemunha S.I. (Tabela 5).

O teor de Mg e a soma de bases (SB) na camada de 0,00-0,25 m, sofreram efeito isolado do fator inoculações, de forma que, as bactérias aplicadas isoladamente proporcionaram os maiores valores, não diferindo da testemunha (Tabela 5). Existe uma relação entre os teores de Ca:Mg:K no solo, mencionado pela literatura (SALVADOR; CARVALHO; LUCCHESI, 2011) gerando discussão até um tanto quanto polêmica e ambígua, citando um intervalo de relação dos teores de 9:3:1 até 25:5:1 para uma nutrição vegetal adequada, mas que também mesmo dentro dessa faixa/intervalo pode não garantir ganhos na produtividade, pois existem outros inúmeros fatores que podem influenciar. As médias dos teores do presente trabalho, em ambas as camadas de solo, estão respeitando esse intervalo entre os três nutrientes, exceto para o Ca que em ambas as camadas de solo, ficou abaixo da relação que é mencionada na literatura.

A capacidade de troca catiônica (CTC) na camada de 0,00-0,25 m foi influenciada pelo efeito isolado de inoculações, posto que, os maiores valores desse atributo foram encontrados nas inoculações isoladas com Azo e com Bac, não diferindo da testemunha S.I. (Tabela 5). As maiores SB e CTC foram verificadas com a inoculação de *B. subtilis*, o que é explicado devido ao maior teor de K e Ca para esse tratamento nessa camada, posto que, a SB nada mais é do que a somatória dos teores de K, Ca e Mg no solo e, a CTC é resultante da somatória da SB com a acidez potencial.

Tabela 5 - Atributos químicos do solo (K, Ca, Mg, SB, CTC e V) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANNA-PLANTA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K		Ca		Mg		SB		CTC		V	
	mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	2,64	2,16	12,06	10,19	10,13	7,13	24,83	19,48	44,45	39,16	54,88	49,44
45	2,58	2,23	12,63	11,00	10,19	8,06	25,39	21,29	45,08	41,16	55,63	50,88
90	2,64	2,06	11,94	10,19	9,19	7,38	23,77	19,62	43,89	40,43	53,63	48,38
135	2,76	2,07	11,38	10,19	8,75	6,75	22,89	19,01	43,14	38,69	52,63	48,88
180	2,76	2,11	14,88	11,63	12,75	7,94	30,39	21,67	48,83	41,48	61,13	51,88
Inoculação												
S.I.	2,59 a	2,39 a	14,50 a	11,80 a	12,60 a	8,30 a	29,69 a	22,49 a	48,29 a	40,79 a	60,10 a	54,40 a
Azo	2,77 a	2,25 a	12,70 b	10,20 a	10,60 a	7,50 a	26,07 a	19,95 a	46,67 a	40,65 a	55,60 b	48,80 b
Bac	3,05 a	2,22 a	14,50 a	10,30 a	12,20 a	6,90 a	29,75 a	19,42 a	49,95 a	40,32 a	58,40 a	48,00 b
Pseud	2,83 a	2,07 a	13,40 a	12,20 a	10,50 a	8,30 a	26,73 a	22,57 a	45,23 b	41,17 a	58,40 a	54,60 a
Azo + Bac	2,79 a	1,85 a	11,80 b	10,70 a	9,50 b	8,10 a	24,09 b	20,65 a	43,39 b	40,75 a	54,90 b	50,00 b
Azo + Pseud	2,65 a	2,01 a	11,50 b	10,30 a	9,20 b	7,00 a	23,35 b	19,31 a	42,95 b	39,01 a	54,10 b	49,10 b
Bac + Pseud	2,34 a	2,31 a	11,30 b	9,70 a	8,60 b	6,80 a	22,24 b	18,81 a	42,54 b	39,81 a	51,30 b	47,20 b
Azo + Bac + Pseud	2,39 a	1,89 a	10,90 b	9,90 a	8,40 b	6,70 a	21,69 b	18,49 a	41,59 b	38,99 a	51,80 b	47,00 b
Erro Padrão	0,25	0,18	0,90	0,80	0,80	0,53	1,62	1,21	1,49	1,20	1,92	1,65
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	*	ns	**	ns	**	ns	**	ns	*	**
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	29,18	27,25	22,59	23,86	24,76	22,43	20,07	18,97	10,42	9,47	10,90	10,45
Média geral	2,68	2,12	12,58	10,64	10,20	7,45	25,45	20,21	45,08	40,19	55,58	49,89

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A saturação por bases (V%) foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das inoculações em ambas as camadas de solo (Tabela 5). Na camada de 0,00-0,25 m, a SB para as inoculações isoladas com Bac e Pseud foram superiores as demais, não diferindo da testemunha e; para a camada de 0,25-0,50 m, a maior SB entre as inoculações foi observada para Pseud, também não diferindo da testemunha S.I. Lembrando que, a V% é resultado da divisão da SB pela CTC.

Os teores de Ca, Mg, SB, CTC na camada de 0,25-0,50 m de solo, não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações, bem como o teor de K em ambas as camadas de solo (Tabela 5).

A saturação por Al (m%) na camada de 0,25-0,50 m foi afetada pelo efeito isolado das inoculações, de maneira que, apenas a inoculação com Pseud diferiu das demais, apresentando menor teor (Tabela 6). Sabe-se que, a m% nada mais é do que o teor de Al dividido pela SB mais o Al, assim tal resultado pode ter ocorrido por influência do teor de Al, que apresentou comportamento semelhante ao da m% na mesma camada.

A m% na camada de 0,25-0,50 m de solo foi influenciada pela interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 6). Houve ajuste a função quadrática, para Azo+Bac, até a dose de 91 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e para Azo+Bac+Pseud, até a dose de 88 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 7). Pseud e Bac+Pseud se ajustaram a funções lineares decrescente e crescente, respectivamente, influenciados pelo teor de Al. Na dose 0 (sem adubação fosfatada), as inoculações com Bac, Azo+Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud apresentaram as menores m%. Entretanto, nas demais doses, todas as inoculações demonstraram valores iguais ou até maiores do que a testemunha S.I.

Os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn em ambas as camadas de solo, não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações (Tabela 6). Ainda assim, o teor de Mn apresentou incremento de 19 a 24% para a inoculação com Azo+Pseud, em ambas as camadas de solo, quando comparadas à testemunha sem inoculação. E para o teor de Zn, houve incremento de 17% na inoculação com Azo na camada de 0,25-0,50 m de solo e 81% para a inoculação com Pseud na camada de 0,25-0,50 m de solo.

Tabela 6 - Atributos químicos do solo (B, Cu, Fe, Mn, Zn e m%) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANÁ-PLANTA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	B		Cu		Fe		Mn		Zn		m	
	mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		%	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	0,14	0,13	1,05	1,31	33,31	14,50	31,53	16,54	3,84	0,41	4,50	7,75
45	0,15	0,14	0,99	1,31	37,13	14,75	31,75	14,16	4,11	0,56	3,19	7,19
90	0,15	0,14	1,08	1,24	32,38	14,00	28,54	12,87	3,72	0,46	5,31	7,38
135	0,15	0,13	1,11	1,21	37,63	14,69	27,90	12,86	3,36	0,34	4,19	7,44
180	0,14	0,12	1,00	1,24	36,31	17,25	29,72	14,39	3,32	0,46	2,00	6,00
Inoculação												
S.l.	0,16 a	0,14 a	1,04 a	1,17 a	37,90 a	13,50 a	27,89 a	12,63 a	3,84 a	0,32 a	2,80	5,60 a
Azo	0,16 a	0,14 a	1,04 a	1,25 a	33,20 a	15,50 a	29,50 a	13,68 a	4,51 a	0,43 a	4,90	8,90 a
Bac	0,15 a	0,13 a	1,05 a	1,20 a	35,10 a	15,60 a	30,04 a	13,99 a	4,09 a	0,54 a	3,80	8,40 a
Pseud	0,14 a	0,13 a	1,04 a	1,31 a	32,80 a	15,50 a	31,00 a	14,24 a	3,66 a	0,58 a	4,10	2,70 b
Azo + Bac	0,15 a	0,14 a	0,95 a	1,29 a	36,50 a	14,60 a	29,60 a	13,45 a	2,90 a	0,41 a	4,50	7,70 a
Azo + Pseud	0,13 a	0,10 a	1,11 a	1,26 a	36,10 a	14,90 a	33,15 a	15,69 a	3,80 a	0,38 a	2,50	7,40 a
Bac + Pseud	0,16 a	0,15 a	1,09 a	1,29 a	34,60 a	14,70 a	28,64 a	13,36 a	3,09 a	0,40 a	4,60	8,10 a
Azo + Bac + Pseud	0,13 a	0,12 a	1,03 a	1,33 a	36,60 a	16,00 a	29,29 a	16,28 a	3,46 a	0,50 a	3,50	8,40 a
Erro Padrão	0,02	0,01	0,05	0,06	2,06	1,43	2,14	1,77	0,62	0,06	0,52	1,02
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
C.V. (5%)	3,71 #	3,60 #	13,85	14,51	18,45	30,12	22,60 #	19,55 #	23,13 #	10,50 #	29,58 #	31,04 #
Média geral	0,15	0,13	1,04	1,26	35,35	15,04	29,89	14,17	3,67	0,45	3,84	7,15

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.l. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 7 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para saturação por Al (m%) no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.

CANNA-PLANTA					
m (%) - camada 0,00-0,25 m					
Inoculação	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	8,50 a	0,00 c	2,50 b	2,00 c	1,00 b
Azo	8,00 a	2,00 c	6,50 a	6,00 b	2,00 b
Bac	0,00 b	7,50 a	7,50 a	0,00 c	4,00 b
Pseud	7,50 a	9,00 a	2,00 b	2,00 c	0,00 b
Azo + Bac	2,00 b	2,50 c	8,00 a	10,00 a	0,00 b
Azo + Pseud	10,00 a	0,00 c	2,50 b	0,00 c	0,00 b
Bac + Pseud	0,00 b	0,00 c	3,00 b	11,00 a	9,00 a
Azo + Bac + Pseud	0,00 b	4,50 b	10,50 a	2,50 c	0,00 b
Erro padrão	1,15				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 .

S.I. (sem inoculação): $y = 2,8^{ns}$

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 4,9^{ns}$

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 3,8^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0489x + 8,5000$ ($R^2 = 0,79^{**}$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = -0,0009x^2 + 0,1633x + 0,3000$ ($R^2 = 0,60^{**}$ e PM = 91 kg ha⁻¹)

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 2,5^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 0,0644x - 1,2000$ ($R^2 = 0,80^{**}$)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,00099x^2 + 0,1733x - 0,1000$ ($R^2 = 0,75^{**}$ e PM=88 kg ha⁻¹)

Fonte: Elaboração da própria autora.

Após o primeiro ano de cultivo da cultura (cana-planta), objetivando interpretar os níveis dos atributos químicos do solo, na camada de 0,00-0,25 m (Tabelas 2, 5 e 6), observou-se que na média geral, os teores de P (7-15 mg dm⁻³), S (<4 mg dm⁻³) e B (<0,2 mg dm⁻³) são considerados baixos, os teores de K (1,6-3,0 mmol_c dm⁻³) e V% (51-70) são considerados médios; Ca (>7 mmol_c dm⁻³), Mg (>8 mmol_c dm⁻³), Cu (>0,8 mg dm⁻³), Fe (>12 mg dm⁻³), Mn (>5 mg dm⁻³) e Zn (>1,2 mg dm⁻³) são considerados altos e pH (4,4-5,0) é considerado como nível de acidez alto (RAIJ *et al.*, 1997).

Para a camada de 0,25-0,50 m de solo (Tabelas 2, 5 e 6), o teor de P é considerado muito baixo (<6 mg dm⁻³), os teores de S (<4 mg dm⁻³), B (<0,2 mg dm⁻³), Zn (< 0,5 mg dm⁻³) e V% (26-50) baixos, os teores de K (1,6-3,0 mmol_c dm⁻³) e Mg (5-8 mmol_c dm⁻³) médios e, os teores de Ca (>7 mmol_c dm⁻³), Cu (>0,8 mg dm⁻³), Fe (>12 mg dm⁻³), Mn (>5 mg dm⁻³) são considerados altos e pH (4,4-5,0) é considerado como nível de acidez alto (RAIJ *et al.*, 1997).

Ainda segundo o mesmo autor, em subsuperfície, teores de Al maior que 5 mmol_c dm⁻³ e saturação por Al (m%) maior que 40 indicam condições desfavoráveis para o desenvolvimento radicular das plantas, o que não é o caso do solo do presente estudo.

5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO (INCLUINDO TEOR DE P-DISPONÍVEL NO SOLO ÀS PLANTAS (P-LÁBIL + P-SOLUÇÃO) – CANA-SOCA

A acidez potencial (H+Al) do solo na camada de 0,00-0,25 m, foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das inoculações, visto que, todas as inoculações resultaram em menor acidez potencial do solo, quando comparadas a testemunha S.I. (Tabela 8).

O teor de P disponível na camada de 0,00-0,25 m de solo, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 8). Somente houve ajuste para a inoculação com Azo+Bac+Pseud, ajustando-se a uma função linear crescente (Figura 3). À medida que se aumentou as doses de P_2O_5 aplicadas, elevou-se também o teor de P disponível no solo.

Nas doses de 0, 45 e 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 aplicadas, as inoculações não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 9). Contudo, na dose de 180 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , as inoculações utilizando combinações de bactérias (Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud) superaram as demais, inclusive apresentando os maiores teores de P disponível em relação a todas as outras doses, possivelmente por conta da maior dose aplicada de fertilizante fosfatado. Na dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , todas as inoculações apresentaram teores de P disponível superiores à testemunha, exceto Azo+Bac e Bac+Pseud. É importante salientar que, também na dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , as inoculações com Azo, Pseud e Azo+Bac+Pseud apresentaram maiores teores de P disponível do que na maior dose (180 kg ha⁻¹ de P_2O_5) sem inoculação (S.I.).

Ainda sobre o teor de P disponível na camada de 0,00-0,25 m de solo, o mesmo foi incrementado, quando comparado à testemunha sem inoculação, em 60 e 111% para a inoculação com Pseud associada às doses de 45 e 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e em 144% para a inoculação com Azo associada à dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 9). Ressalta-se que, os teores de P na cana-soca são apenas resultado de uma adubação residual, posto que não se adubou com P_2O_5 a cana-soca, somente a cana-planta.

Tabela 8 - Atributos químicos do solo (P, S-SO₄, MO, pH, H+Al e Al) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANÁ-SOCA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	P resina		S-SO ₄		MO		pH		H+Al		Al	
	mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		g dm ⁻³		CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	5,44	4,75	1,69	1,56	16,19	10,81	4,63	4,54	24,00	19,94	2,06	2,50
45	6,19	4,69	1,75	1,69	15,31	10,38	4,71	4,70	22,38	19,19	2,00	2,94
90	7,56	5,31	1,81	1,75	15,69	10,69	4,76	4,66	21,00	19,88	1,81	2,38
135	6,63	5,44	1,81	1,81	14,94	10,25	4,67	4,63	22,75	20,75	2,38	2,69
180	8,00	5,13	2,06	1,88	15,44	10,50	4,68	4,66	22,50	20,00	1,94	2,31
Inoculação												
S.l.	6,40	6,00 a	2,10 a	1,80 a	16,70 a	11,50 a	4,55 a	4,62 a	25,90 a	20,60 a	2,60 a	3,00 a
Azo	7,90	4,60 a	1,60 a	1,60 a	15,60 a	10,30 a	4,80 a	4,57 a	21,40 b	21,20 a	2,00 a	2,80 a
Bac	6,20	4,60 a	1,90 a	1,80 a	15,10 a	10,60 a	4,74 a	4,68 a	21,70 b	19,50 a	1,80 a	2,30 a
Pseud	7,40	4,80 a	2,20 a	2,20 a	15,30 a	10,30 a	4,68 a	4,58 a	22,50 b	19,80 a	1,80 a	2,60 a
Azo + Bac	5,00	4,80 a	1,50 a	1,20 a	14,80 a	10,40 a	4,75 a	4,72 a	21,60 b	18,90 a	2,00 a	2,30 a
Azo + Pseud	6,00	5,00 a	1,50 a	1,60 a	15,60 a	10,70 a	4,67 a	4,67 a	22,90 b	19,30 a	2,10 a	2,20 a
Bac + Pseud	6,80	5,60 a	1,70 a	1,80 a	16,10 a	10,50 a	4,64 a	4,61 a	23,10 b	20,60 a	2,20 a	2,90 a
Azo + Bac + Pseud	8,40	5,10 a	2,10 a	1,90 a	14,90 a	9,90 a	4,68 a	4,64 a	21,10 b	19,70 a	1,80 a	2,40 a
Erro Padrão	0,93	0,36	0,26	0,26	0,54	0,38	0,08	0,06	1,05	0,80	0,18	0,26
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
D x I	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	22,86 #	22,34	18,44 #	18,33 #	11,02	11,38	5,29	4,16	14,73	12,66	27,77	13,62 #
Média geral	6,76	5,06	1,83	1,74	15,51	10,53	4,69	4,63	22,53	19,95	2,04	2,56

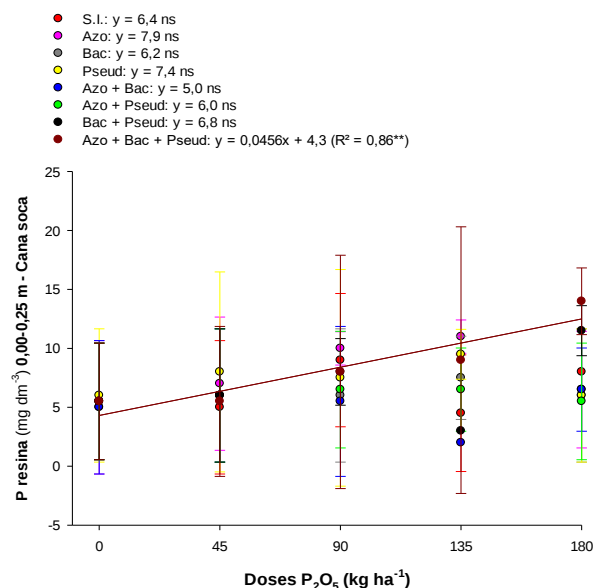
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.l. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 3 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P resina no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-soca.



**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 9 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para P resina no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-soca.

CANASOCA					
P resina (mg dm ⁻³) - camada 0,00-0,25 m					
Inoculação	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	5,50 a	5,00 a	9,00 a	4,50 b	8,00 b
Azo	5,00 a	7,00 a	10,00 a	11,00 a	6,50 b
Bac	5,50 a	6,00 a	6,00 a	7,50 a	6,00 b
Pseud	6,00 a	8,00 a	7,50 a	9,50 a	6,00 b
Azo + Bac	5,00 a	6,00 a	5,50 a	2,00 b	6,50 b
Azo + Pseud	5,50 a	6,00 a	6,50 a	6,50 a	5,50 b
Bac + Pseud	5,50 a	6,00 a	8,00 a	3,00 b	11,50 a
Azo + Bac + Pseud	5,50 a	5,50 a	8,00 a	9,00 a	14,00 a
Erro padrão	2,09				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Os teores de P disponível e H+Al na camada de 0,25-0,50 m de solo, não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações, bem como os teores de S, MO, pH e Al em ambas as camadas de solo (Tabela 8).

O teor de Ca no solo na camada de 0,00-0,25 m foi influenciado pelo efeito isolado das inoculações, de modo que, *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* aplicados individualmente ou combinados entre si, resultaram em maiores teores de Ca no solo em relação aos demais tratamentos, incluindo a testemunha S.I. (Tabela 10). O mesmo comportamento aconteceu para a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) na mesma camada de solo, o que possivelmente foi devido à influência do teor de Ca que está envolvido no cálculo das mesmas.

Para Ca na camada de 0,25-0,50 m de solo ocorreu influência significativa do efeito isolado das inoculações e também das doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 10). As inoculações isoladas com Azo e com Bac apresentaram os maiores teores de Ca no solo, embora não diferindo da testemunha. Houve ajuste a função quadrática até a dose de 117 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4A). O mesmo comportamento foi observado para a capacidade de troca catiônica (CTC) na mesma camada de solo (Tabela 10), ocorrendo o ajuste a função quadrática até a dose de 136 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4D).

A CTC na camada de 0,00-0,25 m de solo, foi influenciada pelo efeito isolado de inoculações, sendo que, apenas Azo+Pseud e Azo+Bac+Pseud, apresentaram teores inferiores desse atributo, em relação as demais inoculações (Tabela 10).

Tabela 10 - Atributos químicos do solo (K, Ca, Mg, SB, CTC e V) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANÁ-SOCA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	K		Ca		Mg		SB		CTC		V	
	mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	1,44	1,10	9,13	7,75	7,06	5,56	17,63	14,41	41,63	34,35	42,50	41,81
45	1,58	1,18	9,06	9,00	7,25	6,88	17,89	17,05	40,26	36,24	44,38	47,00
90	1,40	1,13	9,31	9,25	7,06	6,69	17,78	17,06	38,78	36,94	45,69	46,25
135	1,42	1,16	9,50	9,69	7,94	6,50	18,86	17,35	41,61	38,10	44,94	45,56
180	1,65	1,13	9,31	9,00	6,81	6,44	17,78	16,57	40,28	36,57	43,81	45,25
Inoculação												
S.I.	1,74 a	1,19 a	8,50 b	10,00 a	6,50 b	6,60 a	16,74 b	17,79 a	42,64 a	38,39 a	39,00 b	46,20 a
Azo	1,43 a	1,13 a	10,80 a	9,70 a	8,40 a	6,80 a	20,63 a	17,63 a	42,03 a	38,83 a	49,30 a	45,40 a
Bac	1,41 a	1,17 a	11,50 a	10,20 a	8,10 a	6,80 a	21,01 a	18,17 a	42,71 a	37,67 a	49,10 a	48,10 a
Pseud	1,69 a	1,13 a	8,80 b	8,20 b	7,60 a	5,90 a	18,09 b	15,23 b	40,59 a	35,03 b	44,30 b	43,30 a
Azo + Bac	1,43 a	1,14 a	10,00 a	8,90 b	7,50 a	6,80 a	18,93 a	16,84 a	40,53 a	35,74 b	46,60 a	46,90 a
Azo + Pseud	1,52 a	1,13 a	8,00 b	8,90 b	6,30 b	6,10 a	15,82 b	16,13 b	38,72 b	35,43 b	40,80 b	45,50 a
Bac + Pseud	1,42 a	1,17 a	8,90 b	8,10 b	7,50 a	6,30 a	17,82 b	15,57 b	40,92 a	36,17 b	43,70 b	43,30 a
Azo + Bac + Pseud	1,33 a	1,05 a	7,60 b	7,50 b	5,90 b	6,00 a	14,83 b	14,55 b	35,93 b	34,25 b	41,30 b	42,70 a
Erro Padrão	0,13	0,08	0,72	0,54	0,58	0,36	1,18	0,78	1,01	0,93	2,48	1,75
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	**	**	*	ns	**	*	**	**	*	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	27,68	21,85	24,75	19,13	25,25	17,74	20,70	14,97	7,92	8,09	17,73	12,27
Média geral	1,50	1,14	9,26	8,94	7,23	6,41	17,98	16,49	40,51	36,44	44,26	45,18

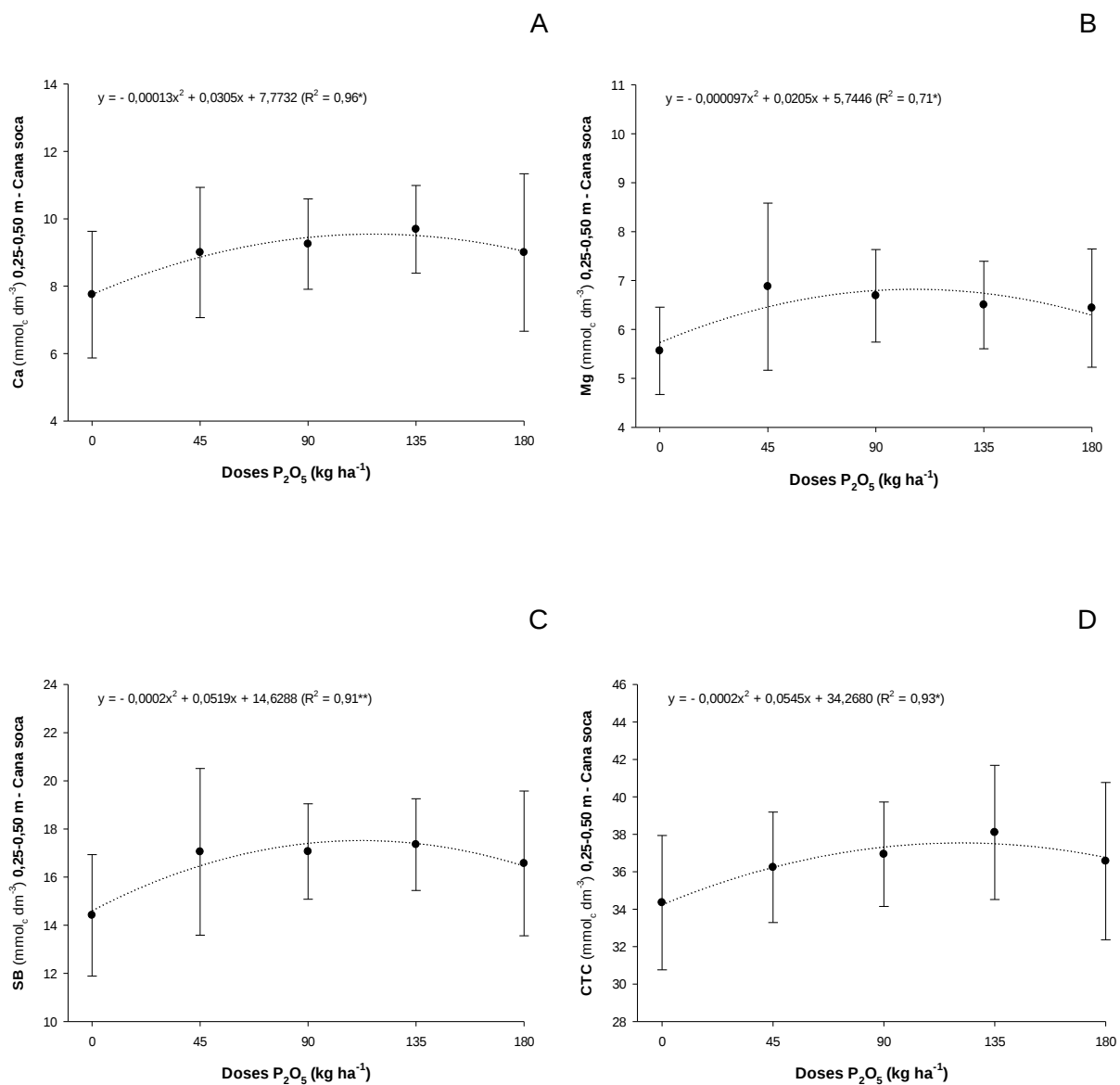
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 4 - Efeito de doses de P_2O_5 , para teores de Ca (A), Mg (B), soma de bases (SB) (C) e capacidade de troca catiônica (CTC) (D) do solo, na camada de 0,25-0,50 m, em cana-soca.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

O teor de Mg na camada de 0,00-0,25 m de solo, foi influenciado pelo efeito isolado de inoculações, de modo que, todas as inoculações apresentaram teores superiores à testemunha S.I., exceto Azo+Pseud e a inoculação tripla (Azo+Bac+Pseud) (Tabela 10). Na camada de 0,25-0,50 m, o teor de Mg no solo foi influenciado pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 aplicadas, ocorrendo ajuste a função quadrática até a dose de 106 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4B).

A SB da camada de 0,25-0,50 m de solo foi influenciada significativamente pelo efeito isolado de inoculações e de doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 10). As bactérias *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* aplicadas de forma individual ou combinadas entre si, apresentaram as maiores SB, embora não diferindo da testemunha S.I. Ocorreu ajuste a função quadrática até a dose de 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 4C).

A V% na camada de 0,25-0,50 m e o teor de K, em ambas as camadas de solo, não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações (Tabela 10).

Ocorreram incrementos na camada de 0,00-0,25 m de solo para os teores de Ca, Mg, SB e V em relação à testemunha, nas proporções de 27, 29, 23 e 26% , respectivamente, quando se inoculou com Azo e; 35, 25, 26 e 26%. para quando se inoculou com Bac (Tabela 10). As bases fazem parte dos cálculos da SB e V%. por isso as mesmas também foram influenciadas diretamente pelas mesmas inoculações.

O teor de Mn no solo na camada de 0,00-0,25 m foi influenciado significativamente pelo efeito isolado de inoculações, de forma que, todas as inoculações foram superiores à testemunha S.I., exceto Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud (Tabela 11).

O teor de Zn na camada de 0,00-0,25 m de solo foi influenciado significativamente pelo efeito isolado de inoculações, de maneira que, todas as inoculações foram superiores à testemunha S.I., exceto Azo, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud e, os maiores teores foram encontrados na inoculação com Pseud e com Azo+Bac (Tabela 11).

Os teores de Mn e Zn na camada de 0,25-0,50 m não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações, bem como os teores de B, Cu, Fe e m% em ambas as camadas de solo (Tabela 11).

Tabela 11 - Atributos químicos do solo (B, Cu, Fe, Mn, Zn e m%) determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-soca, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

CANÁ-SOCA												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	B		Cu		Fe		Mn		Zn		m	
	mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		%	
	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m	0,00-0,25m	0,25-0,50m
0	0,12	0,15	0,99	1,01	23,81	16,88	21,77	12,26	1,35	0,59	11,00	15,06
45	0,11	0,13	0,98	1,01	27,13	15,88	22,74	12,16	1,45	0,79	10,38	14,94
90	0,12	0,15	0,92	1,00	24,06	17,06	19,82	11,17	1,58	0,68	9,44	12,25
135	0,13	0,15	1,01	1,08	26,13	16,50	20,62	10,51	1,04	0,55	12,81	13,56
180	0,13	0,16	0,93	1,01	24,69	15,94	21,23	11,83	1,16	0,55	10,25	12,44
Inoculação												
S.I.	0,12 a	0,17 a	1,00 a	1,00 a	25,70 a	18,90 a	14,67 b	12,72 a	0,58 b	0,81 a	14,50 a	14,60 a
Azo	0,11 a	0,12 a	0,94 a	1,08 a	26,40 a	14,10 a	25,28 a	9,71 a	1,08 b	1,21 a	8,70 a	13,60 a
Bac	0,15 a	0,19 a	0,93 a	0,97 a	22,20 a	19,90 a	23,76 a	9,57 a	1,40 a	0,76 a	8,00 a	11,50 a
Pseud	0,14 a	0,18 a	0,92 a	1,08 a	25,80 a	13,30 a	23,51 a	11,24 a	1,97 a	0,34 a	9,40 a	15,00 a
Azo + Bac	0,11 a	0,12 a	0,96 a	1,01 a	31,60 a	12,70 a	22,41 a	9,50 a	1,84 a	0,29 a	9,70 a	12,60 a
Azo + Pseud	0,12 a	0,11 a	0,97 a	1,02 a	28,90 a	11,10 a	24,44 a	9,89 a	1,67 a	0,23 a	12,10 a	12,00 a
Bac + Pseud	0,11 a	0,16 a	0,98 a	0,99 a	22,40 a	22,20 a	16,52 b	14,59 a	0,94 b	0,76 a	12,70 a	15,90 a
Azo + Bac + Pseud	0,13 a	0,15 a	1,01 a	1,01 a	18,30 a	19,40 a	19,29 b	15,45 a	1,06 b	0,66 a	11,10 a	14,00 a
Erro Padrão	0,02	0,02	0,04	0,04	4,17	3,33	2,35	2,15	0,23	0,23	1,42	1,50
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	4,89 #	5,18 #	13,79	11,87	28,66 #	30,26 #	19,46 #	28,61 #	21,40 #	29,73 #	20,46 #	16,74 #
Média geral	0,12	0,15	0,96	1,02	25,16	16,45	21,24	11,58	1,32	0,63	10,78	13,65

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. Fonte: Elaboração da própria autora.

Na camada de 0,00-0,25 m de solo, houve incremento de 23% no teor de Fe quando se inoculou com Azo+Bac; 72 e 67% de incremento para o teor de Mn quando se inoculou com Azo e Azo+Pseud, respectivamente, e; 240 e 217% para o teor de Zn quando se inoculou com Pseud e Azo+Bac, respectivamente, todos esses valores levando em consideração para comparação a testemunha S.I. (Tabela 11).

Após o cultivo da 1ª cana-soca, visando interpretar os níveis dos atributos químicos do solo, na camada de 0,00-0,25 m (Tabelas 8, 10 e 11), verificou-se que na média geral, os teores de P (7-15 mg dm⁻³), S (<4 mg dm⁻³), K (0,8-1,5 mmol_c dm⁻³), V% (26-50) e B (<0,2 mg dm⁻³) são considerados baixos, o teor de Mg (5-8 mmol_c dm⁻³) é considerado médio e, os teores de Ca (>7 mmol_c dm⁻³), Cu (>0,8 mg dm⁻³), Fe (>12 mg dm⁻³), Mn (>5 mg dm⁻³), Zn (>1,2 mg dm⁻³) são considerados altos e pH (4,4-5,0) é considerado como nível de acidez alto (RAIJ *et al.*, 1997).

Para a camada de 0,25-0,50 m de solo (Tabelas 8, 10 e 11), o teor de P (<6 mg dm⁻³) é considerado muito baixo, os teores de S (<4 mg dm⁻³), K (0,8-1,5 mmol_c dm⁻³), B (<0,2 mg dm⁻³) e V% (26-50), são considerados baixos, os teores de Mg (5-8 mmol_c dm⁻³) e Zn (0,6-1,2 mg dm⁻³) são médios e, os teores de Ca (>7 mmol_c dm⁻³), Cu (>0,8 mg dm⁻³), Fe (>12 mg dm⁻³), Mn (>5 mg dm⁻³) são considerados altos e pH (4,4-5,0) é considerado como nível de acidez alto (RAIJ *et al.*, 1997).

O P é um nutriente que possui alto grau de interação com o solo, principalmente os tropicais, o que faz dele o elemento mais crítico na adubação das culturas. O principal fator que condiciona os teores totais de P é o material de origem do solo, visto que, na solução do solo seus teores são muito baixos (RAIJ, 2011).

O S tem como fonte primária as rochas ígneas, no entanto, a maior reserva de S no solo encontra-se na matéria orgânica (RAIJ, 2011), por isso a deficiência desse nutriente é mais comum em solos arenosos, pobres em MO.

A fase sólida do solo é formada pela fração mineral e fração orgânica, sendo que essa última corresponde à matéria orgânica do solo que por sua vez é constituída basicamente por C, O, H, N, S e P (NOVAIS *et al.*, 2007), crucial para a estruturação do solo, aeração, retenção de água e fornecimento de nutrientes as plantas.

O pH está relacionado com a concentração dos H⁺ na solução do solo, que determina a acidez ativa do solo, que nada mais é do que a atividade dos íons H⁺ em solução (NOVAIS *et al.*, 2007).

A acidez potencial, expressa por $H+Al$, se refere à quantidade dos íons H^+ e Al^{3+} de formas trocáveis e não-trocáveis que estão presentes no solo (NOVAIS *et al.*, 2007).

O Al além de ser um componente importante da acidez dos solos, quando em concentrações elevadas, pode ser tóxico às plantas, podendo também reagir com fosfatos tornando-os insolúveis às plantas, de tal forma que esse elemento se trata de uma das principais limitações da produção agrícola em solos ácidos (NOVAIS *et al.*, 2007).

Em valores de pH acima de 5,5, a solubilidade do Al é mínima, por isso busca-se ao se realizar a calagem, elevar o pH acima desse valor.

A saturação por Al (m%) indica a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O K é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, tendo como fontes os minerais primários como feldspatos e micas e, os minerais secundários da fração argila de grade 2:1, como illita e vermiculita (RAIJ, 2011).

O Ca também tem sua origem primária nas rochas ígneas, encontrando-se adsorvido nos coloides do solo ou retido na biomassa, de maneira que, solos mais arenosos possuem menores teores de Ca do que os argilosos (RAIJ, 2011; FERNANDES, 2006). Em solos cultivados, o Ca não é um fator limitante.

O Mg faz parte da estrutura de minerais de argila, como illita, vermiculita e montmorilonita, sendo que, quanto mais intemperizado o solo, menor é a ocorrência desses minerais (RAIJ, 2011). Atualmente, é um nutriente “esquecido”, pois as fontes concentradas dos fertilizantes aplicados em maiores quantidades pelo produtor não contêm Mg.

A CTC é de extrema importância na agricultura, pois graças a ela os solos são capazes de reter nutrientes como Ca, Mg, K, além de outros em menores quantidades, evitando que eles sejam levados/perdidos através das águas de drenagem, ao mesmo tempo que os mantêm em condições de disponibilidade para as plantas (RAIJ, 2011).

A saturação por bases (V%) expressa a parte da CTC ocupada por Ca, Mg e K e está diretamente relacionada com os valores de pH (RAIJ, 2011).

Com relação aos micronutrientes, esses estão presentes nos solos em quantidades pouco expressivas. O B na sua maior parte está presente nos solos nos minerais silicatados, também adsorvido em argilominerais e hidróxidos de Fe e Al e, a maior parte do B disponível provém da mineralização da MO, sendo esse o mais

móvel dos micronutrientes no solo, podendo ser facilmente lixiviado em solos arenosos (FERNANDES, 2006; RAIJ, 2011).

O Cu é o menos móvel entre os micronutrientes devido a sua forte adsorção aos coloides orgânicos e inorgânicos do solo, sendo que, na matéria orgânica, é retido por ácidos húmicos e fúlvicos formando complexos orgânicos, tais quais representam importante papel na mobilidade e na disponibilidade desse micronutriente às plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

O Fe é o elemento metálico mais comum nos solos, ocorrendo principalmente na forma de óxidos (hematita, goetita) e hidróxidos, que influenciam muito na coloração dos solos (FERNANDES, 2006; NOVAIS *et al.*, 2007).

O Mn no solo tem comportamento muito complexo, é proveniente de óxidos, silicatos, carbonatos e sulfetos, sendo comum sua ocorrência em associação com o Fe (FERNANDES, 2006).

O Zn provém principalmente de rochas ígneas básicas, minerais ferromagnéticos como biotita, magnetita, hornblenda, de forma que tais minerais ao serem intemperizados, liberam Zn que pode ser adsorvido aos coloides do solo ou formar complexos com a MO (FERNANDES, 2006).

Mohle *et al.* (2019), aplicando um composto inoculado com *Pseudomonas fluorescens* em solo franco argilo-arenoso, relataram melhora nos atributos químicos do solo, como incremento dos teores de P, K, N, micronutrientes e do pH, e atribui tais resultados à utilização de mecanismos diretos e indiretos por parte dessa BPCPs, como a capacidade de produção de ácidos orgânicos, sideróforos e fitormônios, solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio. Também no presente estudo, observou-se que essa mesma bactéria sozinha ou combinada com outras foi responsável por incrementar os teores de P disponível, S, Mn e Zn no solo.

Elevar o pH do solo corrigindo a acidez através da calagem, mantendo-o na faixa entre 5,4 e 5,9 para pH em CaCl_2 (pH em água: 6,0-6,5) (NOVAIS *et al.*, 2007), é uma tática muito empregada para aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e diminuir a solubilidade do Al. Como a análise de solo do presente estudo foi realizada após a cultura da cana-planta e cana-soca ter exportado grande parte dos nutrientes e, o solo ser caracteristicamente arenoso (com baixo teor de MO) e intemperizado, já que se trata de um Latossolo, com material de origem pobre em minerais de argila de grade 2:1 e rico em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, todas essas condições podem ter facilitado as perdas (lixiviação, adsorção) dos nutrientes que

foram fornecidos via adubação mineral, sendo essas prováveis explicações para os níveis de alguns dos atributos estarem considerados baixos ou muito baixos e o pH com nível elevado de acidez, já que com a calagem não sabe-se se conseguiu atingir o mínimo esperado de saturação de bases (V%) e pH, recomendado pela literatura.

Estrada-Bonilla, Durrer e Cardoso (2021), avaliando em um experimento em vasos, a disponibilidade de P no solo e a nutrição de plantas, assim como as alterações na comunidade bacteriana do solo com o uso de fontes alternativas de P e inoculação com combinações de bactérias solubilizadoras de fosfato (incluindo *Pseudomonas* sp. e *Bacillus* sp.), verificaram que, o uso de composto de resíduos da indústria canavieira como fonte de P associado à coinoculação com *Bacillus* sp. BACBR04, *Bacillus* sp. BACBR06 e *Rhizobium* sp. RIZBR01, aumentou o conteúdo de P na parte aérea das plantas em relação aos tratamentos não inoculados que receberam apenas composto ou apenas P solúvel (superfosfato triplo), e esse aumento correlacionou-se com um incremento na disponibilidade de P no solo, com mudanças na comunidade bacteriana do solo.

Tais autores indicam assim, se tratar de uma nova estratégia potencial para a adubação da cana-de-açúcar, utilizando bactérias solubilizadoras de fosfato em combinação com composto de resíduos para melhorar a nutrição de P e o crescimento da cana-de-açúcar com reduzido impacto econômico e ambiental.

O aumento na concentração de fitato no solo pela adição do composto possivelmente eleva a expressão de enzimas degradantes de fitase que, aumentam a disponibilidade de P inorgânico no solo (ESTRADA-BONILLA; DURRER; CARDOSO, 2021).

Bactérias solubilizadoras de fosfato, como assim denominadas, são aquelas que têm capacidade de aumentar a disponibilidade de P disponível no solo, solubilizando formas insolúveis inorgânicas (como hidroxiapatita e compostos de P metálico) e mineralizando fontes orgânicas (como ésteres de fosfato orgânico) (ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017). Ligados à solubilização de fosfato estão os mecanismos de produção de ácidos orgânicos, quelação, extrusão de prótons, produção de exopolissacarídeos e sideróforos (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019) e relacionado à mineralização está o principal mecanismo que é a secreção de enzimas extracelulares, como fosfatases, fitases, fosfonatases e C–P liases (SOUMARE *et al.*, 2020).

A *Pseudomonas fluorescens* desempenha o papel de solubilizante de P e melhora sua solubilidade de P ao converter PO_4^{-3} em HPO_4^{-2} e $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ALORI; GLICK; BABALOLA, 2017).

Cepas de *Pseudomonas* sp. demonstraram capacidade de solubilização de fosfato e características promotoras de crescimento pela produção de IAA e sideróforos (MAGALLON-SERVÍN *et al.*, 2020).

Carmo *et al.* (2019) consideraram o gênero *Bacillus* como sendo o mais promissor para a solubilização de fosfatos a partir de rocha fosfatada, devido à produção de ácidos orgânicos, como ácido láctico, acético e propiônico.

Estrada-Bonilla *et al.* (2017), estudando a inoculação de bactérias fosfatossolubilizantes em compostos residuais da indústria canavieira, observaram que a predominância do gênero *Bacillus* foi responsável pelo aumento de P lábil no composto.

Ghorbanzadeh *et al.* (2020), observaram que a aplicação no solo de resíduos agroindustriais orgânicos associada a inoculação de *Pseudomonas* sp. aumentaram o fósforo disponível no solo.

Emani *et al.* (2020) descrevem que, em um consórcio de bactérias endófitas e bactérias solubilizadoras de fosfato, isoladas de rizosfera e raízes de trigo, atuaram sinergicamente melhorando a eficiência de uso de fósforo em cultivares de trigo cultivados em solo com deficiência de fósforo, afirmando que a maioria dos isolados rizosféricos e endofíticos pertenciam aos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus*, demonstrando a importância da presença dessas bactérias no solo e nas plantas.

Chandra, Chandra e Tripathi (2021), apontam *B. subtilis* como um forte candidato preferível para aplicação como biofertilizante visando promover o crescimento de cana-planta e cana-soca, em condições ambientais adversas.

De acordo com Kour *et al.* (2020), o gênero *Azospirillum* é capaz de fixar quantidade considerável de N em gramíneas ($20\text{-}40 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), produzir substâncias promotoras de crescimento (IAA, giberelinas e citocininas), sendo que seus principais efeitos dizem respeito às alterações na morfologia da raiz que, podem levar a aumentar o crescimento da planta, maior tolerância a condições de estresse estimulando a alteração na elasticidade da parede celular e ajustes osmóticos. Ainda tais autores afirmam que solubilizantes de fosfato como *Bacillus* e *Pseudomonas*, podem acrescentar em torno de $30\text{-}35 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 .

Em plantas sob condições de limitação de fosfato solúvel, quando foram inoculadas linhagens ou cepas de *Pseudomonas fluorescens* que produziam elevadas quantidades de ácido glucônico, estas resultaram em maior capacidade de promoção de crescimento, devido à assimilação pela planta do fosfato que foi solubilizado (OTEINO *et al.*, 2015). O principal mecanismo para a solubilização do fosfato mineral é a produção de ácidos orgânicos e fosfatases ácidas (ILLMER; SCHINNER, 1995), o ácido glucônico parece ser o mais frequente na solubilização inorgânica de fosfato (RODRÍGUEZ *et al.*, 2006).

Solos agricultáveis detêm grandes reservas de fósforo, porém todo esse fósforo não se encontra prontamente disponível, principalmente em solos ácidos, muito intemperizados, visto que, quando aplica-se o fertilizante contendo esse nutriente, ele pode se ligar ao Fe, Al e matéria orgânica, formando compostos insolúveis. Já em solos alcalinos forma-se reserva solúvel devido a sua ligação com Ca e Mg, tornando-o indisponível à absorção pelas plantas, devido à alta reatividade (SANTOS *et al.*, 2012). Assim, a fração de P que se encontra disponível nos solos aos vegetais é bastante ínfima.

Com a inoculação de Azo+Bac associada à aplicação de apenas 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ao solo foi possível ainda, mesmo após a absorção do nutriente pela cultura, observar 17 mg dm⁻³ de P ao solo na camada de 0-0,25 m, em cana-planta. Desse modo, em ambas as profundidades, nota-se que essa inoculação elevou em mais de 4 vezes o teor de P disponível no solo em relação à testemunha. Por outro lado, Caione *et al.* (2015) ao analisarem um Latossolo Vermelho Eutrófico (Eutrophic Red Ultisol) submetido à aplicação de 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅ também na forma de superfosfato simples, cultivado com cana-de-açúcar aos seis meses de ciclo, relataram teores de 57 mg dm⁻³ de P disponível na camada de 0-0,20 m solo. Tais valores podem ser tão divergentes devido à quantidade de argila e matéria orgânica presente em cada solo.

Granada *et al.* (2018) consideram com base em estudos até o momento, poderia se alcançar uma redução média de até 33% na adubação fosfatada das culturas, por meio da utilização de inoculantes contendo estirpes com alta eficiência de solubilização de P. Para isso, deve-se considerar a interação planta-bactéria, ou seja, a especificidade desses microrganismos com o genótipo em estudo.

Lira-Cadete *et al.* (2012), estudando três variedades de cana-de-açúcar (RB92579, RB867515 e RB863129), observaram que a RB92579 demonstrou maior

interação com linhagens de BPCPs que apresentaram elevados índice de solubilização de fosfato, *in vitro*.

5.4 TEOR DE P-TOTAL NO SOLO (APÓS A COLHEITA DA CANA-PLANTA)

Analisando os teores de P total do solo após o cultivo da cana-planta, na camada de 0,00-0,25 m de solo houve efeito significativo da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações com BPCPs (Tabela 13). Com o aumento das doses de P_2O_5 ocorreram ajustes lineares, crescente para Bac+Pseud e decrescente para Pseud (Figura 5).

Sem a aplicação de fertilizante fosfatado (dose 0) a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* demonstrou ser superior nessa dose, diferindo de Azo e Bac aplicados isolados ou combinados, que também diferiram das demais (Tabela 14). Inclusive aplicando-se Pseud, obteve-se o maior teor de P total do solo de todos os tratamentos na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.

Na dose de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 aplicados, ainda a inoculação com Pseud e a inoculação com Bac se sobressaíram em relação às demais inoculações (Tabela 14). Contudo, aplicando-se 90 e 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , essas duas bactérias foram superiores às demais para o teor de P total do solo, porém não diferindo da testemunha S.I. E aplicando-se 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , as inoculações não diferiram entre si.

O menor teor de P total encontrado nesse solo (de todos os tratamentos) após o cultivo da cana-planta, foi na dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 associada à inoculação com Azo+Bac ($208,70 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 14), sendo ainda superior ao teor no solo (média da área total) sem aplicação de qualquer tipo de preparo, aplicação de corretivo, fertilizante ou cultivo ($200,56 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 12).

Na camada de 0,25-0,50 m, o teor de P total do solo foi influenciado significativamente pelo efeito isolado de inoculações, de modo que, assim como na camada superior, aqui também as inoculações isoladas com Bac e com Pseud resultaram em maiores teores de P total do solo (Tabela 13). Posteriormente seguidos e diferindo da inoculação com Azo, que diferiu da testemunha S.I. e da inoculação tripla e assim decrescentemente.

Tabela 12 - Teor inicial de P total do solo do experimento, antes da implantação da cana-planta.

Camadas de solo	P total
(m)	(mg kg ⁻¹)
0,00-0,25	200,56
0,25-0,50	180,18

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 13 - Teores de P total no solo determinados nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m logo após a colheita da cana-planta, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

P total solo - Cana planta		
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	
	camada 0,00-0,25 m	camada 0,25-0,50 m
0	359,68	299,32
45	338,57	331,60
90	357,54	341,73
135	311,03	313,87
180	361,84	347,90
Inoculação		
S.I.	366,49	319,79 c
Azo	358,41	351,36 b
Bac	421,02	411,80 a
Pseud	459,27	428,63 a
Azo + Bac	298,14	232,21 e
Azo + Pseud	296,36	256,38 e
Bac + Pseud	284,28	288,46 d
Azo + Bac + Pseud	281,89	326,43 c
Erro padrão	17,92	10,60
Teste F		
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns
Inoculação (I)	**	**
D x I	*	ns
C.V. (%)	16,39	10,26
Média geral	345,73	326,88

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

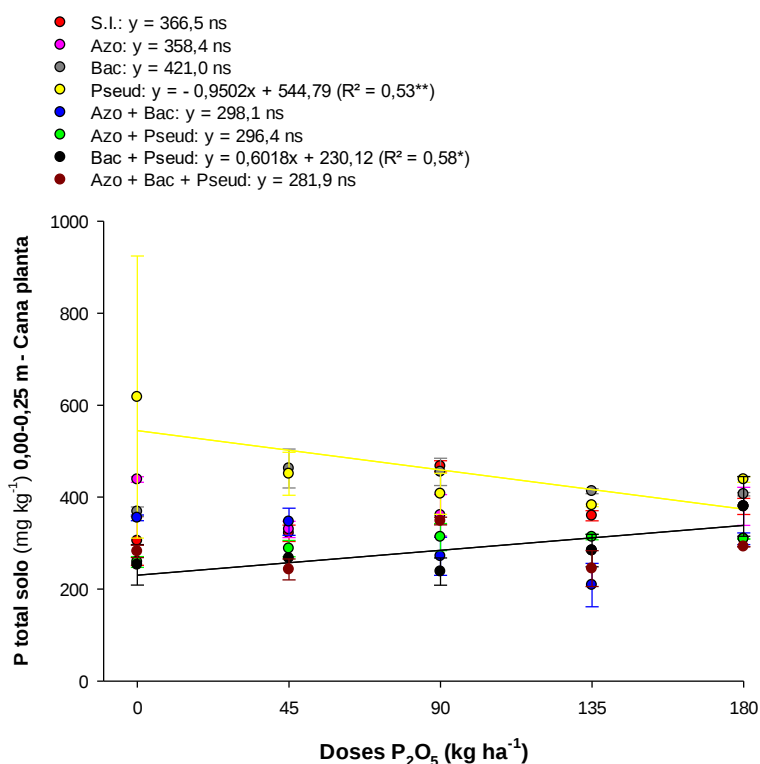
Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 14 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para P total no solo na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.

Inoculação	P total no solo ($mg\ kg^{-1}$) - camada 0,00-0,25 m				
	Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)				
	0	45	90	135	180
S.l.	304,65 c	321,35 b	467,25 a	359,45 a	379,75 a
Azo	438,35 b	329,70 b	360,40 b	283,80 b	379,80 a
Bac	368,30 b	462,45 a	455,10 a	412,85 a	406,40 a
Pseud	617,70 a	451,00 a	407,25 a	382,00 a	438,40 a
Azo + Bac	354,95 b	346,30 b	271,30 b	208,70 b	309,45 a
Azo + Pseud	258,85 c	288,00 b	313,05 b	313,00 b	308,90 a
Bac + Pseud	252,75 c	267,10 b	237,95 b	283,80 b	379,80 a
Azo + Bac + Pseud	281,90 c	242,65 b	348,05 b	244,60 b	292,25 a
Erro padrão	40,06				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.l. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 5 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para P total no solo, na camada de 0,00-0,25 m, em cana-planta.



** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.l. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

O menor teor de P total encontrado para essa camada de solo também foi na inoculação com Azo+Bac (232,21 mg kg⁻¹) (Tabela 13). Lembrando que antes da implantação do experimento, o teor médio da área total dessa camada de solo era de 180,18 mg kg⁻¹ de P total no solo (Tabela 12).

Os maiores teores de P total não ocorreram nos mesmos tratamentos em que ocorreram os maiores teores de P disponível, sendo possível observar que, as combinações (duplas e tripla) de bactérias não beneficiaram o teor de P total do solo, entretanto, foram positivas para o teor de P disponível no solo, concentrando os maiores teores onde se aplicou as combinações desses organismos.

Emami *et al.* (2020) relataram que a inoculação de bactérias solubilizantes de fosfato aumenta a eficiência de aquisição de fósforo (P adquirido do solo).

De acordo com Oteino *et al.* (2015), cepas dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, entre outras, têm a capacidade de solubilizar fosfatos.

Em um Latossolo muito argiloso de cerrado (Rhodic Ferralsol - Oxisol) com baixa disponibilidade inicial de P, cultivado durante 17 anos com plantio de soja e milho, fertilizado com 35 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P, Nunes *et al.* (2020) em área com vegetação natural encontraram valor médio de P total de 247 mg kg⁻¹ na camada de 0,00-0,40 m de solo e, em área sob plantio convencional média de 339 mg kg⁻¹ de P total na mesma camada, valor esse próximo dos que foram encontrados no presente experimento até a profundidade de 0,50 m do solo.

Rheinheimer *et al.* (2019) relataram que o aumento do conteúdo de P total e da MO do solo contribui para a transformação de P inorgânico em P orgânico sob sistema plantio direto.

É importante salientar que, na média geral, em torno de apenas 2,3 e 1,1% do P total encontra-se em formas de P disponível ou prontamente disponível as plantas (P-lábil + P-solução), nas camadas de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m de solo (Tabela 2 e 13).

Em Latossolo argiloso (Oxisol), Rheinheimer *et al.* (2019) verificaram que na camada de 0,00-0,10 m apenas 0,4% do P total estava disponível as plantas em área de floresta natural, devido à alta adsorção de minerais de argila neste solo (680 mg kg⁻¹ de minerais de argila 1:1 e 190 mg kg⁻¹ de óxidos de Fe e Al). Ainda tais autores relataram que, em área de plantio direto e plantio convencional somente 1,2 e 0,6% de todo o P total do solo encontrava-se disponível as plantas. Valores estes

semelhantes aos encontrados no presente experimento. Segundo eles, sob floresta natural, aproximadamente 34% do P total está na forma orgânica.

Devido à elevada capacidade de adsorção do fósforo aos solos, principalmente àqueles de clima tropical, muito intemperizados/profundos, ácidos e pobres nesse nutriente devido às características do material de origem, as plantas têm buscado estratégias para interceptar e absorver P, como por exemplo o aumento da razão entre raiz e parte aérea, aumento da quantidade, forma ou espessura dos pelos radiculares para garantir maior exploração do volume do solo, a exsudação pela raiz da enzima fosfatase ácida ou de compostos orgânicos de baixo peso molecular que, por meio de reações de troca de ligantes ou ocupação do sítio de adsorção, promovem a mobilização de P e também através da associação com microrganismos (CHAVARRÍA *et al.*, 2016; RHEINHEIMER *et al.*, 2019).

Embora os solos agrícolas tenham quantidades suficientes de P, apenas uma pequena parte do fósforo inorgânico ativo (Pi) pode ser absorvida e utilizada pelas plantas, pois a maior parte dele é imóvel, inacessível e indisponível, o que pode levar ao surgimento de deficiência nos vegetais, que quase sempre é sanada com o fornecimento contínuo de Pi na forma de fertilizantes minerais solúveis, posto que, sua introdução nos agroecossistemas possibilitou triplicar a produção agrícola, contudo somente 5-30% do P aplicado se torna disponível as plantas, uma vez que, o restante é novamente perdido por processos físico-químicos no solo (ZHANG *et al.*, 2021; EKARDT, 2013).

A solubilização de P orgânico também é denominada de mineralização de P orgânico e desempenha papel crucial na ciclagem de fósforo de um sistema agrícola (KHAN; ZAIDI, 2007).

Zhang *et al.* (2021) relataram que em solos degradados, com baixo teor de P disponível, predominam as bactérias solubilizadoras de fosfato que melhor se adaptam ao ambiente pobre em P, produzindo então grande número de fosfatases para promover a mineralização do P orgânico (Po) e fornecer P disponível para o crescimento das plantas, dado que, a atividade da enzima fosfatase ácida está diretamente relacionada à taxa de mineralização do Po do solo.

O principal mecanismo de solubilização do fósforo está relacionado à redução do pH do solo através da produção microbiana de ácidos orgânicos e mineralização do P orgânico por meio da fosfatase ácida (ZHANG *et al.*, 2021).

Pesquisas apontam que cepas do gênero *Pseudomonas* são os mais eficazes solubilizadores de fosfato, por serem capazes de expressar elevada quantidade de fosfatase ácida e poderosos solventes de fosfato (GÜGI *et al.*, 1991). E no estudo de Zhang *et al.* (2021), *Pseudomonas* não se correlacionou com a atividade de fosfatase ácida, porém apresentou intensa capacidade de mineralização do Po, que foi facilmente dissolvido e mineralizado pela mesma, o que pode ter se dado por conta das diferentes estratégias de adaptação desses microrganismos a distintas condições ambientais.

5.5 NÚMERO MAIS PROVÁVEL (NMP) DE BACTÉRIAS ASSOCIATIVAS NA RIZOSFERA DA CANA-PLANTA - *Azospirillum* sp., *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*

A quantificação do número mais provável de bactérias associativas na rizosfera da cana-planta, demonstrou que a população de *Azospirillum* sp. não variou entre os tratamentos estudados, ficando a média em torno de 3×10^2 UFC g⁻¹ (Tabela 16). O mesmo comportamento ocorreu para *Pseudomonas fluorescens*, que apresentou população média de $1,1 \times 10^2$ UFC g⁻¹ para todos os tratamentos. Esses valores foram os mesmos valores observados no solo analisado antes da implantação do experimento, para ambas as bactérias (Tabela 15).

Tal fato pode ser devido à tratamentos aplicados mais especificamente no solo ou no exterior da planta (como no caso do presente experimento sobre os toletes) geralmente não aumentarem significativamente a população dessas estirpes por diversos fatores relacionados ao solo, até mesmo o rizosférico. Dessa forma, uma possibilidade para trabalhos futuros seria analisar a população no meio intracelular das plantas buscando resultados mais precisos.

Em contrapartida, a população de *Bacillus subtilis* é determinada mais facilmente em solo de rizosfera, sendo verificada diferença significativa entre os tratamentos, com efeito isolado do fator inoculações para esta variável (Tabela 16).

A população de *Bacillus subtilis* nas amostras de solo rizosférico da cana-planta foi estatisticamente maior nas inoculações com Bac e com Bac+Pseud, diferindo dos demais tratamentos e da testemunha S.I. (Tabela 16).

Tabela 15 - Número mais provável (NMP) de bactérias associativas no solo (camada de 0,00-0,40 m), antes da implantação do experimento.

Bactérias promotoras de crescimento	NMP (UFC g ⁻¹)
<i>Azospirillum</i> sp.	3,00 x 10 ²
<i>Bacillus subtilis</i>	3,70 x 10 ⁵
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1,10 x 10 ²

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 16 - Número mais provável (NMP) de bactérias associativas na rizosfera (0,40 m) da cana-planta, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

	<i>Azospirillum</i> sp.	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	UFC g ⁻¹ (x10 ²)	UFC g ⁻¹ (x10 ⁵)	UFC g ⁻¹ (x10 ²)
0	-	4,95	-
45	-	7,32	-
90	-	5,70	-
135	-	6,29	-
180	-	4,84	-
Inoculação			
S.I.	-	4,04 c	-
Azo	-	6,26 b	-
Bac	-	11,29 a	-
Pseud	-	3,92 d	-
Azo + Bac	-	4,75 c	-
Azo + Pseud	-	3,53 d	-
Bac + Pseud	-	8,32 a	-
Azo + Bac + Pseud	-	4,47 c	-
Erro padrão	-	1,38	-
Teste F			
Doses de P ₂ O ₅ (D)	-	ns	-
Inoculação (I)	-	**	-
D x I	-	ns	-
C.V. (%)	-	1,26 #	-
Média geral	3,00	5,82	1,10

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. #: transformação dos dados por log (X).

UFC: unidade formadora de colônia.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A menor população de *Bacillus subtilis* foi encontrada nos tratamentos que se inoculou com Azo+Pseud e com Pseud, certamente por interferência da não inoculação com *Bacillus subtilis* (Tabela 16). Contudo, na testemunha onde não se aplicou nenhum inoculante, a população encontrada foi significativamente maior, quando comparada aos tratamentos que se inoculou com Azo+Pseud e com Pseud, o que biologicamente não se explica.

As doses de P_2O_5 aplicadas, não influenciaram significativamente a população de *Bacillus subtilis* no solo rizosférico da cana-planta (Tabela 16). A média geral dessa população ($5,82 \times 10^5$ UFC g⁻¹) foi como esperado superior à população encontrada no solo coletado antes da implantação do experimento ($3,7 \times 10^5$ UFC g⁻¹), sendo 57% superior).

De acordo com Moreira *et al.* (2010), no solo as bactérias do gênero *Azospirillum* sp. podem ser encontradas no mucigel presente na rizosfera de plantas, caracterizando uma colonização externa das raízes, já na colonização interna, as células de *Azospirillum* sp. podem penetrar nos espaços intercelulares das raízes e lá se alojarem.

O meio NFb é utilizado para detectar quatro espécies-alvo, *Azospirillum brasilense*, *A. lipoferum*, *A. irakense* e *A. halopraeferans*, contudo, outras espécies de bactérias associativas também podem crescer nesse espaço (DÖBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995). Santos *et al.* (2015), no mesmo meio utilizado no presente trabalho para quantificação de *Azospirillum* sp., o meio NFb, encontrou densidades bacterianas baixas, variando de $3,6 \times 10^3$ a $4,8 \times 10^4$, sendo que, populações em torno de 10^6 - 10^7 células por grama de solo, têm sido comumente relatadas (DÖBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995; MOREIRA *et al.*, 2010). Valores ainda mais baixos foram encontrados no presente experimento para *Azospirillum* sp.

As bactérias associativas também colonizam o interior ou a superfície do tecido vegetal, folhas, caules, colmos e raízes (MOREIRA *et al.*, 2013). É provável que determinações diretamente a partir das raízes da cana-de-açúcar apresentem população mais elevada.

Comumente se espera que mudanças na composição química e na composição e atividade da microbiota do solo causem alterações na população de bactérias rizosféricas e endofíticas, entretanto, a bioquímica da planta e o estresse hídrico podem influenciar muito na dinâmica da microbiota radicular (NAYLOR, 2017).

Dessa forma, mais pesquisas são necessárias para compreensão da dinâmica da comunidade microbiana do solo, interação planta-bactéria e interferência das condições ambientais que a planta está submetida à eficiência da inoculação.

Segundo Di Salvo *et al.* (2018), o nível de resposta da inoculação é definido por interações complexas entre microrganismos e plantas, muitas delas ainda desconhecidas. Corroborando com o presente estudo, esses autores não observaram influência significativa da inoculação com *Azospirillum brasilense* e da adubação mineral, no número mais provável de bactérias associativas na rizosfera de plantas de trigo, em meio NFb.

Rodríguez-Blanco, Sicardi e Frioni (2015) relataram que o número mais provável de bactérias diazotróficas na rizosfera do milho não foi influenciado pelo genótipo da planta e taxas de fertilização mineral, enquanto que, tiveram forte influência na abundância e composição de bactérias diazotróficas dentro das raízes das plantas, o que leva a crer que a especificidade entre a planta e bactéria é um importante fator para promover inoculações bem-sucedidas.

De acordo com Zuluaga *et al.* (2021), a inoculação com BPCPs como *Pseudomonas*, induz o acúmulo diferencial de elevada quantidade de compostos ligados ao processo de colonização desses organismos e ligados à promoção do crescimento vegetal, afirmando ainda que mais estudos são necessários para investigar se a indução de maiores ou menores modificações na rizosfera por essas BPCPs, podem melhorar a resiliência da cepa inoculada.

5.6 ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ICF) E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE – CANA-PLANTA E CANA-SOCA

Uma forma de determinar em tempo real o estado nutricional da planta, com relação ao N, de forma não destrutiva, é através do uso do clorofilômetro, que avalia o teor de clorofila total da folha através de sensores resultando em um índice denominado ICF (índice de clorofila foliar) e, como o N é um dos constituintes da molécula de clorofila, portanto, o ICF se correlaciona positivamente com o teor desse nutriente na planta.

O índice de clorofila foliar (ICF) na folha diagnose da cana-de-açúcar, em todas as épocas avaliadas (épocas 1, 2, 3 em cana-planta correspondendo à 102, 195, 283 DAP e, épocas 1, 2 em cana-soca correspondendo à 164, 220 DAC,

respectivamente) não foi influenciado pelas doses de P_2O_5 aplicadas e nem pelas inoculações com BPCPs, assim como, pelo efeito de suas interações (Tabela 17).

Tabela 17 - Índice de clorofila foliar (ICF) na folha diagnose da cana-de-açúcar variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

Índice de clorofila foliar					
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta			Cana-soca	
	Época 1 (102 DAP)	Época 2 (195 DAP)	Época 3 (283 DAP)	Época 1 (164 DAC)	Época 2 (220 DAC)
0	43,94	41,61	43,10	41,07	38,42
45	45,21	42,51	44,41	43,05	39,54
90	44,26	40,05	42,82	43,16	36,01
135	41,70	41,11	43,41	43,26	39,43
180	43,71	41,88	42,59	42,82	37,92
Inoculação					
S.I.	43,70 a	41,49 a	43,45 a	41,53 a	38,32 a
Azo	44,41 a	41,87 a	42,96 a	42,34 a	38,03 a
Bac	43,09 a	40,63 a	43,42 a	42,28 a	37,30 a
Pseud	43,59 a	42,53 a	43,71 a	43,07 a	38,60 a
Azo + Bac	44,15 a	41,99 a	44,15 a	42,51 a	38,64 a
Azo + Pseud	43,49 a	40,80 a	41,71 a	43,70 a	38,65 a
Bac + Pseud	44,96 a	41,21 a	43,70 a	43,46 a	38,11 a
Azo + Bac + Pseud	42,71 a	40,94 a	43,01 a	42,48 a	38,47 a
Erro Padrão	1,03	0,87	0,56	0,98	0,76
Teste F					
Doses de P_2O_5 (D)	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	7,43	6,68	4,11	7,25	6,24
Média geral	43,76	41,43	43,26	42,67	38,27

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. DAP: dias após o plantio. DAC: dias após a colheita da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

O atraso na leitura do ICF na cana-soca é devido ao já mencionado atraso na brotação e perfilhamento, devido ao extenso período sem chuva após o corte da cana-planta. Tal atraso aliado ao período extenso de déficit hídrico pode ter refletido, mesmo não havendo diferença significativa ($p > 0,05$), nos menores valores de ICF na época 2 da cana soca, em relação à todas as épocas da cana-planta (Tabela 17), pois foi verificado por Silva *et al.* (2013), que plantas de cana-de-açúcar submetidas a longo período de seca (em torno de 60 dias), apresentaram redução no índice de clorofila, sendo mais severa em variedades suscetíveis. Ainda Zhao, Glaz e Comstock (2014), sugeriram que as leituras de tal índice podem não ser uma ferramenta muito precisa

para identificar a resposta ao N da cana-de-açúcar em solos arenosos, como é o caso do solo do presente estudo. Alguns estudos citam o índice de clorofila foliar como técnica promissora de triagem rápida e não destrutiva para diferenciar genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (SILVA *et al.*, 2007).

Na época 1 da cana-soca é possível observar um incremento do ICF à medida que se aumenta a aplicação de fósforo até a dose de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 17). O maior valor de ICF encontrado na cana-planta foi na época 1 (102 DAP) com a inoculação de Bac+Pseud e, na cana-soca com a aplicação de Azo+Pseud, também na época 1 de avaliação (164 DAC).

Santos *et al.* (2017), avaliando a promoção do crescimento em cana-de-açúcar, variedade RB966928, com a inoculação de bactérias diazotróficas (*Herbaspirillum seropedicae*, *H. rubrisubalbicans*, *Paraburkholderia tropica*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Nitrospirillum amazonense*) relataram valores de ICF (entre 53,9 e 55,7) superiores aos encontrados nesse trabalho, de modo que embora não observando diferença significativa entre as inoculações, o ICF das mesmas foram maiores do que o do controle não inoculado, da mesma forma que aconteceu com a época 1 da cana-soca, para o presente trabalho.

Assim como a clorofila, em ambos os ciclos da cultura, a concentração de N na folha diagnose determinada na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cultura (época 2, 195 DAP e 220 DAC para cana-planta e cana-coca, respectivamente) também não foi influenciada pelos tratamentos estudados (Tabela 18).

Tabela 18 - Concentrações de macronutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	(g kg ⁻¹)											
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	20,44	17,66	2,32	2,23	20,01	12,00	3,67	2,93	1,86	1,81	1,72	1,41
45	20,53	18,09	2,34	2,33	19,60	12,24	3,52	2,94	1,79	1,85	1,73	1,41
90	20,08	17,93	2,37	2,48	20,09	12,18	3,79	2,80	1,93	1,83	1,63	1,39
135	20,39	18,01	2,31	2,57	19,75	12,15	3,76	2,81	1,88	1,83	1,66	1,43
180	20,33	18,17	2,36	2,63	20,36	11,36	3,70	2,84	1,96	1,80	1,77	1,49
Inoculação												
S.I.	19,53 a	18,68 a	2,25 b	1,95 c	19,28 a	12,32	3,33 a	3,08 a	1,79 a	1,91 a	1,70 a	1,34
Azo	20,09 a	18,16 a	2,22 b	2,34 b	20,84 a	11,45	3,83 a	2,75 b	2,03 a	1,81 a	1,67 a	1,46
Bac	21,14 a	17,82 a	2,32 b	2,53 a	19,86 a	11,66	3,83 a	2,82 b	1,90 a	1,80 a	1,69 a	1,41
Pseud	20,58 a	18,15 a	2,41 a	2,62 a	19,62 a	12,21	3,87 a	3,11 a	1,81 a	1,93 a	1,72 a	1,39
Azo + Bac	20,03 a	17,80 a	2,37 a	2,57 a	20,48 a	12,92	3,60 a	3,09 a	1,87 a	1,95 a	1,61 a	1,47
Azo + Pseud	20,36 a	17,48 a	2,31 b	2,51 a	20,00 a	12,40	3,68 a	2,73 b	1,91 a	1,79 a	1,81 a	1,41
Bac + Pseud	20, 65 a	17,86 a	2,48 a	2,58 a	19,67 a	11,74	3,53 a	2,75 b	1,82 a	1,76 a	1,73 a	1,43
Azo + Bac + Pseud	20, 47 a	17,84 a	2,35 a	2,48 a	19,74 a	11,17	3,82 a	2,59 b	1,94 a	1,64 a	1,69 a	1,47
Erro Padrão	0,34	0,35	0,05	0,05	0,62	0,45	0,18	0,12	0,09	0,07	0,06	0,04
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (5%)	5,28	6,14	6,44	6,05	9,83	11,95	15,39	13,15	15,00	12,09	10,30	9,70
Média geral	20,36	17,97	2,34	2,45	19,94	11,98	3,69	2,87	1,88	1,82	1,70	1,42

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

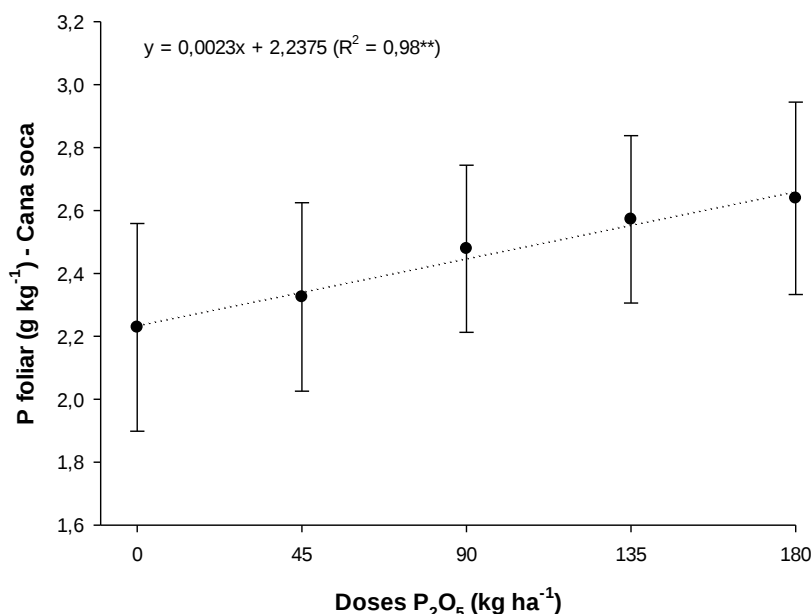
**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A concentração de P foliar na cana-planta, foi influenciada significativamente pelo efeito das inoculações, de forma que, Pseud, Azo+Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud levaram à maiores concentrações desse nutriente na folha da cana-de-açúcar (Tabela 18). Posto que, para a cana-soca, além de ser influenciada pelas inoculações (quando todas as inoculações foram superiores à testemunha S.I.), a concentração desse macronutriente também foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das doses de P_2O_5 aplicadas, ajustando-se a função linear crescente (Figura 6). À medida que se aumentaram as doses de fósforo aplicadas, houve um incremento da concentração de P na folha diagnose da cana-soca.

Figura 6 - Efeito de doses de P_2O_5 , para concentração de P foliar, em cana-soca.



**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

A respeito da concentração de Ca foliar, na cana-soca houve efeito significativo das inoculações, sendo que, Pseud e Azo+Bac foram superiores às demais inoculações, porém não diferindo da testemunha S.I. (Tabela 18).

Para o K e S, na cana-soca, houve efeito significativo da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 18). A concentração de K foliar se ajustou a função linear crescente para a inoculação com Pseud e, só se diferenciou estatisticamente na dose de $45\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , na qual a inoculação com Bac resultou na maior concentração desse nutriente na folha em comparação aos demais (Tabela

19). Leaungvutiviroj *et al.* (2010) reportaram o *Bacillus subtilis* como uma bactéria solubilizadora de potássio e a considera uma ótima opção para compor um biofertilizante, que pode ser o que ocorreu com a inoculação desta bactéria e o solo do presente experimento, fazendo com que a planta ficasse bem nutrida em K.

Tabela 19 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para concentração de K na folha diagnose da cana-soca.

Inoculação	Concentração de K foliar ($g\ kg^{-1}$) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	12,65 a	12,55 b	13,40 a	12,00 a	11,00 a
Azo	12,80 a	11,75 b	11,40 a	10,90 a	10,40 a
Bac	12,60 a	15,70 a	9,65 a	9,80 a	10,55 a
Pseud	11,20 a	9,95 b	13,30 a	12,85 a	13,75 a
Azo + Bac	12,75 a	12,40 b	13,40 a	13,55 a	12,50 a
Azo + Pseud	13,20 a	12,50 b	13,45 a	13,05 a	9,80 a
Bac + Pseud	11,80 a	10,85 b	11,65 a	12,70 a	11,70 a
Azo + Bac + Pseud	9,00 a	12,20 b	11,15 a	12,35 a	11,15 a
Erro padrão			1,01		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação): $y = 12,3^{ns}$

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 11,4^{ns}$

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 11,66^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 0,0178x + 10,6100$ ($R^2 = 0,63^*$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 12,9^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 12,4^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 11,7^{ns}$

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 11,2^{ns}$

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A concentração de S foliar não se ajustou a nenhuma equação linear ou quadrática, sendo que, com aplicação da dose de $90\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , todas as inoculações foram superiores à testemunha S.I. e, com a aplicação da dose de $135\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 apenas as inoculações com Pseud, Azo+Bac e Bac+Pseud diferiram das demais apresentando concentrações inferiores (Tabela 20).

Com relação aos micronutrientes, em cana-planta, observou-se efeito significativo das inoculações com BPCPs na concentração de B foliar, que foi superior nas inoculações com Azo, Bac e na testemunha S.I. (Tabela 21). Em contrapartida, para o Fe observou-se comportamento oposto, uma vez que, esses tratamentos apresentaram as menores concentrações foliares desse nutriente.

Tabela 20 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para concentração de S na folha diagnose da cana-soca.

Inoculação	Concentração de S foliar ($g\ kg^{-1}$) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	1,40 a	1,30 a	1,00 b	1,55 a	1,45 a
Azo	1,35 a	1,45 a	1,45 a	1,50 a	1,55 a
Bac	1,40 a	1,50 a	1,40 a	1,45 a	1,30 a
Pseud	1,55 a	1,35 a	1,30 a	1,30 b	1,45 a
Azo + Bac	1,45 a	1,65 a	1,50 a	1,30 b	1,45 a
Azo + Pseud	1,30 a	1,35 a	1,45 a	1,55 a	1,40 a
Bac + Pseud	1,35 a	1,35 a	1,55 a	1,15 b	1,75 a
Azo + Bac + Pseud	1,45 a	1,30 a	1,45 a	1,60 a	1,55 a
Erro padrão			0,10		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação): $y = 1,34$ ^{ns}

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 1,46$ ^{ns}

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 1,41$ ^{ns}

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 1,39$ ^{ns}

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 1,47$ ^{ns}

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 1,41$ ^{ns}

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 1,43$ ^{ns}

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 1,47$ ^{ns}

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A concentração foliar de Cu, em cana planta, foi influenciada significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 21), havendo ajuste a funções quadráticas para Pseud e S.I. até a dose de 104 e 103 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente, enquanto que a inoculação com Azo+Bac+Pseud se ajustou a uma função linear decrescente (Tabela 22). Apenas na dose 0 (sem aplicação de fertilizante fosfatado) as inoculações variaram entre si, sendo que, nas inoculações Azo, Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud a concentração de Cu foliar foi superior às demais inoculações, as quais também foram superiores à testemunha S.I.

Para Cu foliar na cana-soca, houve efeito significativo isolado das inoculações, de maneira que, as inoculações com Azo+Pseud, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud foram inferiores às demais (Tabela 21). O mesmo comportamento foi observado para a concentração de Zn foliar também na cana-soca, com exceção da inoculação com Azo+Pseud.

O Mn foliar em cana-planta, foi influenciado pelo efeito isolado de inoculações, de modo que, as inoculações com Pseud, Azo+Bac, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud apresentaram maiores concentrações desse nutriente, com relação aos demais tratamentos (Tabela 21).

Tabela 21 - Concentrações de micronutrientes na folha diagnose da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
Doses de P ₂ O ₅	(mg kg ⁻¹)									
(kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	7,81	13,94	5,94	11,19	166,75	90,19	79,75	29,13	15,36	25,69
45	8,07	12,81	6,31	8,94	159,81	85,13	75,81	29,06	15,19	24,63
90	8,54	13,38	6,88	10,94	170,75	85,00	81,31	30,25	15,69	27,38
135	7,73	12,75	6,94	11,06	160,19	89,56	80,31	28,38	15,38	26,38
180	7,61	13,94	5,88	7,31	154,13	86,19	78,19	30,94	15,19	25,06
Inoculação										
S.I.	8,86 a	13,20 a	5,50	12,80 a	141,60 b	90,10 a	71,00 b	30,20 a	15,40 a	26,30 a
Azo	9,91 a	12,20 a	6,20	12,80 a	149,40 b	91,90 a	76,70 b	30,90 a	15,10 a	26,90 a
Bac	9,82 a	11,90 a	6,60	14,00 a	156,00 b	84,90 a	76,20 b	31,30 a	15,40 a	27,30 a
Pseud	7,84 b	13,50 a	6,90	11,80 a	163,90 a	87,80 a	82,90 a	28,70 a	15,10 a	27,50 a
Azo + Bac	6,54 b	15,50 a	6,80	11,20 a	169,40 a	94,00 a	87,50 a	29,20 a	15,90 a	26,70 a
Azo + Pseud	6,54 b	14,40 a	6,00	5,80 b	169,90 a	85,60 a	74,60 b	30,00 a	15,50 a	25,60 a
Bac + Pseud	7,08 b	13,20 a	6,50	5,90 b	176,90 a	80,30 a	81,60 a	28,40 a	15,30 a	23,30 b
Azo + Bac + Pseud	7,01 b	13,00 a	6,60	4,80 b	171,50 a	83,10 a	82,10 a	27,70 a	15,20 a	23,00 b
Erro Padrão	0,48	0,78	0,34	1,13	7,02	4,27	3,32	2,36	0,52	0,72
Teste F										
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	**	ns	ns	**	*	ns	*	ns	ns	**
D x I	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	19,14	18,35	17,00	16,20 #	13,67	15,47	13,27	25,30	10,79	8,76
Média geral	7,95	13,36	6,39	9,89	162,33	87,21	79,08	29,55	15,36	25,83

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 22 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para concentração de Cu na folha diagnose da cana-planta.

Inoculação	Concentração de Cu foliar ($mg\ kg^{-1}$) Cana-planta				
	Doses de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)				
	0	45	90	135	180
S.l.	2,00 c	6,00 a	6,50 a	7,00 a	6,00 a
Azo	7,50 a	5,00 a	5,50 a	7,50 a	5,50 a
Bac	7,00 a	7,00 a	7,00 a	6,50 a	5,50 a
Pseud	5,00 b	7,00 a	8,50 a	7,50 a	6,50 a
Azo + Bac	5,50 b	5,50 a	7,50 a	9,00 a	6,50 a
Azo + Pseud	5,00 b	5,50 a	7,00 a	6,00 a	6,50 a
Bac + Pseud	7,50 a	6,00 a	6,00 a	6,50 a	6,50 a
Azo + Bac + Pseud	8,00 a	8,50 a	7,00 a	5,50 a	4,00 a
Erro padrão			0,77		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 .

S.l. (sem inoculação): $y = -0,0004x^2 + 0,0835x + 2,2714$ ($R^2 = 0,95^{**}$ e $PM = 104\ kg\ ha^{-1}$)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 6,2^{ns}$

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 6,6^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0003x^2 + 0,0617x + 4,9857$ ($R^2 = 0,95^{**}$ e $PM = 103\ kg\ ha^{-1}$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 6,8^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 6,0^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 6,5^{ns}$

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0244x + 8,8000$ ($R^2 = 0,88^*$)

Fonte: Elaboração da própria autora.

As concentrações foliares de K, Ca, S, Zn em cana-planta e B, Fe, Mn em cana-soca, não foram influenciados pelos tratamentos aplicados e nem por suas interações, bem como as concentrações de N e Mg em ambos os cultivos de cana-de-açúcar (Tabela 18 e 21).

Segundo Raij e Cantarella (1997), a faixa adequada de macronutrientes foliares para a cultura da cana-de-açúcar, em $g\ kg^{-1}$ é de 18-25 para N; 1,5-3,0 para P; 10-16 para K; 2-8 para Ca; 1-3 para Mg; 1,5-3,0 para S e, de micronutrientes foliares em $mg\ kg^{-1}$ é de 10-30 para B; 6-15 para Cu; 40-250 para Fe; 25-250 para Mn e 10-50 para Zn. Interpretando o resultado da diagnose foliar realizada na cana-de-açúcar, de acordo com a faixa relatada por esses autores é possível verificar que, na cana-soca as concentrações foliares de N e S (média geral e alguns tratamentos) encontram-se um pouco abaixo do limite inferior (Tabela 18).

Na cana-planta a concentração foliar de K (média geral e alguns tratamentos) encontra-se acima do limite superior indicado. Para o B todos os tratamentos encontram-se abaixo do limite inferior e, para o Cu apenas alguns tratamentos encontram-se um pouco abaixo (mas ainda assim bem próximos) do limite inferior indicado por esses autores (Tabelas 18 e 21). Tal fato pode ter ocorrido devido à área

do experimento localizar-se em um solo de textura média-arenosa, onde a camada superficial (0,00-0,25 m) é de textura arenosa e a camada inferior (0,25-0,50 m) é de textura média, o que pode ter ocasionado a lixiviação dos nutrientes. Os demais nutrientes encontram-se dentro da faixa nutricional considerada como adequada para a cultura da cana-de-açúcar. Lembrando que, embora o P disponível no solo tenha se apresentado em teor baixo ou muito baixo (Tabelas 2 e 8), segundo a literatura, com base na análise da folha diagnose, a planta está adequadamente nutrida em fósforo, podendo possivelmente estar se beneficiando dos efeitos hormonais que as BPCPs promovem nos vegetais, como por exemplo, melhor desenvolvimento do sistema radicular, maior quantidade de pelos radiculares responsáveis por absorver água e nutrientes.

A diagnose foliar é a forma mais precisa até então de identificar o estado nutricional das plantas. Porém, para a cana-de-açúcar a diagnose foliar é uma técnica importante, mas diversos fatores promovem grande variabilidade da composição química foliar, como por exemplo variedade estudada, solo, clima e época de amostragem; logo, os limites fornecidos como referência, indicam faixa de concentrações foliares comuns em canaviais bem supridos de nutrientes, mas isso não significa que os limites mínimos apresentados indicam uma certeza de deficiência, e sim servem como um indício/suspeita (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

O N, P, K são os macronutrientes que mais influenciam no crescimento das plantas e a suplementação microbiana desses nutrientes por meio da fixação de N₂, a solubilização de P e de K vem adquirindo cada vez mais importância (MUTHUKUMARASAMY *et al.*, 2017). Tais autores desenvolveram um estudo em vasos isolando cepas de bactérias (entre elas *Azospirillum* sp.) com capacidade de fixação de N, solubilização de P e K de variedades de cana-de-açúcar da Índia, de maneira que, a associação entre as bactérias diazotróficas, solubilizadores de P e K. Sendo que a *Roseateles terrae* e *Burkholderia gladioli* inoculadas à cana-de-açúcar foram capazes de aumentar a clorofila foliar das plantas, o teor de N e a biomassa total e, o *Azospirillum* sp. demonstrou melhor promoção do crescimento de plantas (33% superior ao controle), de forma a estimular os agricultores a utilizar BPCPs visando aumentar a disponibilidade de N, P e K no solo.

Estrada-Bonilla, Durrer e Cardoso (2021), estudando a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (incluindo algumas cepas de *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp., *Rhizobium* sp.) e aplicação de

compostos alternativos como fonte de fósforo em vasos de plantas em casa de vegetação (Rhodic Ferralsol - Latossolo Vermelho com baixo teor de P) com a variedade RB855453 até os 75 DAP, verificaram que a inoculação com as cepas *Bacillus* sp. BACBR04, *Bacillus* sp. BACBR06 e *Rhizobium* sp. RIZBR01 incrementou o conteúdo de P, de N e de K na parte aérea da planta em relação aos tratamentos não inoculados que receberam apenas fonte de P solúvel (superfosfato triplo).

Diversas cepas de promotoras do crescimento de plantas como *Pseudomonas fluorescens*, foram relatadas por possuir capacidade de solubilização de fosfato, produção de compostos antimicrobianos e ácido indolacético (IAA) (UPADHYAY; SRIVASTAVA, 2010).

De acordo com D'Angioli *et al.* (2017), o *A. brasilense* afeta a arquitetura e comprimento da raiz de *Zea mays* e se correlaciona positivamente com a disponibilidade de P as plantas, indicando que esse nutriente afeta a interação entre bactérias e plantas, ou seja, a oferta de P afeta positivamente a interação entre bactérias e plantas, o que é consequência de um efeito direto da oferta de P na atividade de *A. brasilense*, intensificando seus efeitos na planta.

Discorrendo um pouco sobre cada nutriente de planta e sua função, em relação ao N a sua disponibilidade nos solos limita a produtividade das plantas na maioria dos ecossistemas naturais e agrícolas, devido esse ser o nutriente requerido em maior quantidade pelos vegetais, que atua como constituinte de diversos componentes das células como a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ *et al.*, 2017).

Fundamental para o desenvolvimento dos vegetais, o P participa de compostos importantes nas células, dentre estes fosfato-açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como componentes de membranas (fosfolipídios), nucleotídeos (como o ATP) e no DNA e RNA (TAIZ *et al.*, 2017).

Ao estudar doses crescentes de diferentes fontes de fertilizante fosfatado, inclusive o superfosfato triplo, Caione *et al.* (2015) relataram efeito significativo dessas doses no teor de P foliar avaliado ao 4 e 8 meses após a brotação da cana-planta, independente das fontes, relatando valores entre 1,4 e 1,8 g kg⁻¹, um pouco inferiores aos encontrados no presente trabalho. Lima (2011) encontrou teores médios de 1,7 g kg⁻¹ ao avaliar cana-planta (variedade RB867515) com cinco meses de ciclo. Por outro lado, Nobile *et al.* (2010) ao avaliarem a variedade SP92 4221 aos quatro meses após o plantio, encontraram teores foliares de P entre 0,4 e 0,8 g kg⁻¹. Essas diferenças

podem ocorrer devido à característica de cada variedade e à época de amostragem de cada estudo.

Trabalhando com Latossolo Vermelho distrófico de textura média, Nobile *et al.* (2010) relataram que, à medida que se incrementava P ao solo, maior era a absorção pela planta e mais elevado era o teor de P foliar. O teor de P disponível no solo do presente trabalho, não se relaciona com a concentração de P na folha, visto que os tratamentos com maiores teores de P disponível no solo não foram os que apresentaram maior concentração de P foliar, assim sendo, as bactérias influenciaram de forma distinta na solubilização de fosfato do solo. Esse comportamento insinua que, algumas das combinações desses microrganismos, podem ter promovido a partir de possíveis metabólitos e/ou fitormônios produzidos, a expansão do sistema radicular das plantas de cana-de-açúcar, permitindo atingir maior volume de solo e alcançar o fósforo que se encontrava mais distante, visto que se trata de um nutriente de pouca mobilidade (GRANADA *et al.*, 2018).

O K exerce importante papel na regulação do potencial osmótico das células vegetais (abertura e fechamento estomático), atua como ativador de diversas enzimas envolvidas nos processos de fotossíntese e respiração (TAIZ *et al.*, 2017), regula a translocação de nutrientes na planta e favorece o transporte e armazenamento de carboidratos (FERNANDES, 2006).

O Ca atua na estabilização da parede celular e da membrana, osmorregulação e como mensageiro secundário liberando sinais químicos, que iniciam as respostas dos vegetais aos estímulos ambientais (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017).

O Mg é o íon central da estrutura da molécula de clorofila e, também possui função específica na ativação de enzimas envolvidas nos processos de respiração, fotossíntese e síntese de proteínas (TAIZ *et al.*, 2017). Este elemento também é mencionado como “carregador de P”, contribuindo para a entrada de P na planta, ao que se atribui o aumento da absorção de P na presença de Mg (efeito sinérgico), de modo que o Mg é visto como forma de aumentar a eficiência da absorção de P pelas raízes (FERNANDES, 2006).

O S assim como o N é constituinte de proteínas, estando presente em alguns aminoácidos (como cistina, cisteína e metionina), além de ser um constituinte de várias coenzimas e vitaminas que são essenciais para o metabolismo vegetal (TAIZ *et al.*, 2017).

O B é essencial para parede celular e integridade da membrana (MARSCHNER, 2012), possuindo importante função na translocação de açúcares e metabolismo de carboidratos (FERNANDES, 2006).

O Fe desempenha importante função como componente de enzimas envolvidas na transferência de elétrons (reações redox das células vegetais), como citocromos (TAIZ *et al.*, 2017).

Mn e Cu são essenciais para os sistemas redox, como ativadores enzimáticos, inclusive daquelas relacionadas à desintoxicação de radicais superóxidos e para a síntese de lignina (MARSCHNER, 2012).

O Zn é requerido para a atividade de muitas enzimas, tem função na desintoxicação de radicais superóxidos, integridade da membrana, assim como, síntese de proteínas e do fitormônio IAA (MARSCHNER, 2012).

Em um Argissolo Vermelho Eutrófico (correspondendo à Ultisol de acordo com a Soil Survey Staff, 2014), de textura argilosa, com teor médio de 23 mg dm^{-3} de P disponível no solo, Marangoni *et al.* (2019), verificaram média geral de 3,0 e 4,7 mg kg^{-1} na concentração foliar de B na cana-planta e 1ª cana-soca, respectivamente. Tais valores são inferiores aos encontrados no presente experimento, possivelmente por conta do menor teor inicial do nutriente no solo ($0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de B).

Os mesmos autores, com um teor inicial de 1 mg dm^{-3} de Zn no solo, observaram concentrações foliares de 17,4 e 25,8 mg kg^{-1} de Zn, valores que se encontram bem próximos aos encontrados no presente experimento.

5.7 CONCENTRAÇÃO DE NITRATO (NO_3^-) E AMÔNIO (NH_4^+) NA FOLHA DIAGNOSE – CANA-SOCA

A concentração de nitrato (NO_3^-) na folha diagnose da cana-de-açúcar aos 220 DAC, foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das inoculações com BPCPs (Tabela 23). A maior concentração foi observada na testemunha S.I., enquanto as inoculações com Azo, Bac e Pseud isoladamente apresentaram concentrações intermediárias e, as combinações (duplas e tripla) entre essas bactérias apresentaram as menores concentrações de NO_3^- foliar. Isso é muito importante, pois indica maior eficiência de uso do N quando se inocula com as BPCPs, o que provavelmente se deve a maior atividade da enzima redutase do nitrato. Por outro lado, a concentração foliar de amônio (NH_4^+) não foi influenciada significativamente pelos tratamentos estudados, mas ainda assim, as inoculações

combinadas apresentaram maiores valores de amônio foliar e, especificamente a combinação Bac+Pseud apresentou concentração de amônio foliar 28% superior a testemunha S.I.

Tabela 23 - Concentrações de Nitrato (NO_3^-) e Amônio (NH_4^+) na folha diagnose da cana-de-açúcar (cana-soca), variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

Cana-soca		
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †	Nitrato (NO_3^-)	Amônio (NH_4^+)
	mg kg ⁻¹	
0	161,46	1029,67
45	151,83	812,99
90	152,83	1070,37
135	179,73	1156,88
180	162,43	1136,54
Inoculação		
S.I.	204,94 a	929,80 a
Azo	175,54 b	944,32 a
Bac	175,72 b	917,19 a
Pseud	165,05 b	1017,82 a
Azo + Bac	146,49 c	1122,99 a
Azo + Pseud	144,05 c	1092,36 a
Bac + Pseud	143,52 c	1190,36 a
Azo + Bac + Pseud	137,92 c	1115,47 a
Erro Padrão	6,37	107,25
Teste F		
Doses de P_2O_5 (D)	ns	ns
Inoculação (I)	**	ns
D x I	ns	ns
C.V. (5%)	12,45	17,34 #
Média geral	161,65	1041,29

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

As principais formas químicas de N absorvidas/assimiladas pelas raízes de plantas superiores são nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), sendo que o nitrato geralmente está presente em concentrações mais altas do que amônio na solução dos solos agrícolas (OWEN; JONES, 2001; MARSCHNER, 2012). O nitrato também é mais móvel no solo do que o amônio e, portanto, mais disponível para as plantas (MILLER;

CRAMER, 2004), porém essa forma de N não é prontamente assimilável as plantas e precisará ser convertida em amônio para se tornar assimilável.

As raízes dos vegetais absorvem ativamente o nitrato para, então, reduzi-lo a nitrito (NO_2^-) no citosol, através da enzima nitrato redutase, em seguida, nos cloroplastos e nos plastídios da raiz, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito a amônio (TAIZ *et al.*, 2017).

Quando absorvido já na forma de amônio pela planta, o N é incorporado em outros aminoácidos através de reações de transaminação envolvendo a glutamina e o glutamato (TAIZ *et al.*, 2017).

De acordo com Taiz *et al.* (2017), em concentrações elevadas, o amônio é tóxico aos tecidos das plantas, entretanto o nitrato pode ser armazenado e transportado nos tecidos vegetais de forma segura.

A absorção de nitrato e amônio pelas raízes das plantas é mediada por proteínas de transporte localizadas na membrana plasmática epidérmica e cortical das células da raiz (MARSCHNER, 2012).

O fato das inoculações com combinações de bactérias proporcionarem menor concentração de nitrato foliar, pode ser devido os mesmos promoverem maior disponibilidade de amônio às plantas de cana-de-açúcar, formas de N inorgânicas prontamente assimiláveis pelos vegetais e que não demandam gasto energético.

Segundo Santos *et al.* (2017), bactérias diazotróficas podem alterar o teor de nitrato e amônio em plantas e, conseqüentemente, a indução de enzimas relacionadas ao metabolismo do N. Ainda para Carvalho *et al.* (2014), o N pode atuar como um sinal chave, regulando e integrando diversos processos metabólicos nos vegetais durante sua associação com microrganismos diazotróficos, que podem fornecer amônio diretamente para as plantas através da fixação biológica de N ou potencializar a absorção de N provindo de outras fontes, podendo ser devido a ação hormonal e incremento no sistema radicular (CASSÁN; VANDERLEYDEN; SPAEPEN, 2014; ROSA *et al.*, 2017).

Santos *et al.* (2020) observaram que, melhores respostas à inoculação com bactérias diazotróficas são alcançadas quando se utiliza variedades de cana-de-açúcar adaptadas a solos de baixa fertilidade e, que a inoculação com as mesmas modifica a atividade de duas enzimas envolvidas no processo de assimilação do N (nitrato redutase - envolvida na assimilação do nitrato e, glutamina sintetase - envolvida na assimilação do amônio). Os mesmos autores observaram que após

depleção do N em variedades de cana-de-açúcar sob cultivo hidropônico, houve incremento no conteúdo de nitrato na parte aérea de todas as plantas inoculadas com uma mistura de BPCPs (incluindo o gênero *Azospirillum*).

A predominância do N na forma amoniacal (NH_4^+) em relação a forma nítrica (NO_3^-) nas folhas da cana-de-açúcar, pode ter se dado pela atuação das BPCPs e da maior produção da enzima nitrato redutase, responsável por converter o nitrato em amônio. No entanto, a absorção de uma forma ou de outra depende de uma série de fatores, como disponibilidade dos íons no meio de cultivo, espécie vegetal, estágio fisiológico, intensidade luminosa, pH, temperatura, concentração de CO_2 , entre outros (ESTEBAN *et al.*, 2016). A maior parte do amônio absorvido é assimilado já nas raízes, posto que, as plantas podem apresentar toxidez se houver excesso de amônio livre nas células (BRITTO; KRONZUCKER, 2013).

5.8 MASSA SECA DA PALHADA (PONTEIRO + FOLHAS), MASSA SECA DOS COLMOS E MASSA SECA TOTAL DA PARTE AÉREA (COLMO + PALHADA), NO FINAL DO CICLO

5.8.1 Cana-planta

O acúmulo de massa seca no final do primeiro ciclo da cultura (cana-planta) foi determinado aos 349 DAP. O acúmulo de massa seca da palhada (ponteiro + folhas), massa seca de colmos e massa seca total da parte aérea (colmo + palhada), em cana-planta, foram influenciados significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 24).

Para massa seca da palhada, houve ajuste a funções lineares crescentes nas inoculações Azo e Azo+Pseud, lineares decrescentes nas inoculações Azo+Bac e Bac+Pseud, e ajuste quadrático na testemunha S.I. até a dose de 105 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 7A).

A massa seca de colmos se ajustou a funções lineares decrescentes para Bac, Pseud e Bac+Pseud (Figura 7B). Nessa mesma variável, houve ajuste a funções quadráticas para Azo até a dose de $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, para Azo+Pseud até a dose de $113 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ e para a testemunha S.I. até a dose de $115 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. De modo que, utilizando-se tais doses as respectivas produtividades de massa seca de colmos seriam de 60709, 87406 e 60811 kg ha^{-1} .

Tabela 24 - Massa seca (MS) da palhada, massa seca de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

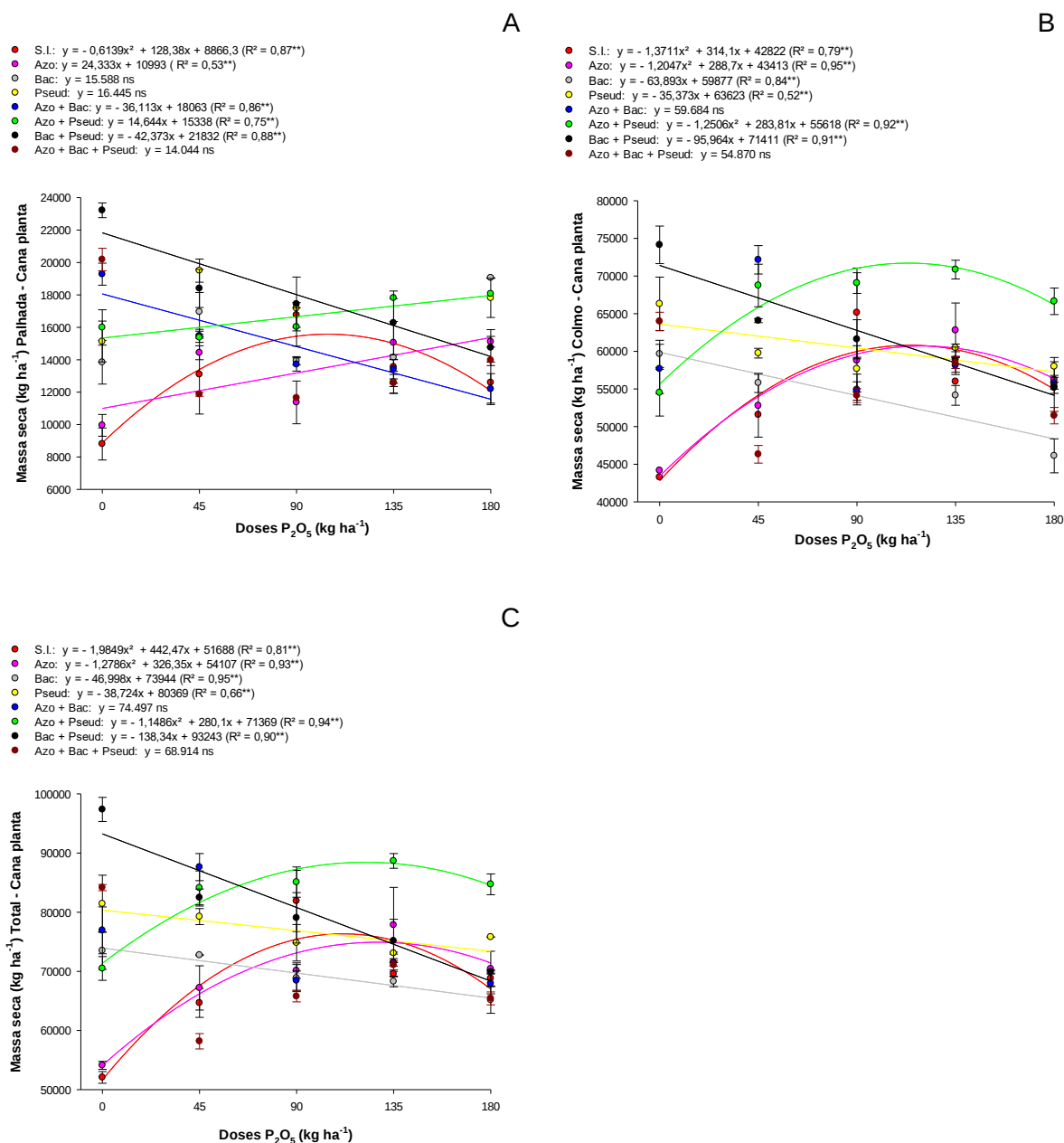
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta			Cana-soca		
	MS palhada	MS colmo	MS total	MS palhada	MS colmo	MS total
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
0	15.800	57.961	73.761	14.303	40.942	55.245
45	15.637	58.898	74.535	15.090	41.860	56.949
90	14.758	59.500	74.258	16.028	46.389	62.417
135	14.429	59.969	74.397	15.791	48.920	64.711
180	15.444	55.579	71.023	15.303	46.325	61.629
Inoculação						
S.I.	12.961	54.432	67.394	15.370 a	37.335	52.706
Azo	13.183	54.759	67.942	14.377 a	40.417	54.794
Bac	15.588	54.126	69.714	16.565 a	41.137	57.703
Pseud	16.445	60.439	76.884	14.429 a	50.323	64.752
Azo + Bac	14.813	59.684	74.497	14.991 a	53.663	68.654
Azo + Pseud	16.656	65.966	82.621	15.862 a	42.963	58.825
Bac + Pseud	18.018	62.774	80.792	16.484 a	51.591	68.075
Azo + Bac + Pseud	14.044	54.870	68.913	14.345 a	41.668	56.014
Erro Padrão	326,18	670,52	766,64	1.220	2.539	3.141
Teste F						
Doses de P_2O_5 (D)	**	**	**	ns	*	ns
Inoculação (I)	**	**	**	ns	**	**
D x I	**	**	**	ns	**	**
C.V. (5%)	6,78	3,63	3,29	25,21	17,88	16,50
Média geral	15.213	58.381	73.595	15.303	44.887	60.190

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

Na massa seca total da parte aérea (colmo + palhada) também ocorreram ajustes lineares decrescentes para Bac, Pseud e Bac+Pseud (Figura 7C). Os ajustes a funções quadráticas se deram para Azo até a dose de 128 kg ha⁻¹ P_2O_5 , Azo+Pseud até a dose de 122 kg ha⁻¹ P_2O_5 e S.I. até a dose de 111 kg ha⁻¹ P_2O_5 .

A inoculação com Azo+Pseud associada às doses 90 e 135 kg ha⁻¹ P_2O_5 , promoveram incremento na massa seca de colmos, o que também ocorreu para a massa seca de palhada e massa seca total utilizando a dose de 135 kg ha⁻¹ P_2O_5 (Tabela 25). Verificaram-se, em relação à testemunha S.I., incrementos de 31, 27 e 28%, respectivamente, no acúmulo de massa seca de palhada, colmos e total, quando se inoculou com Azo+Pseud associado a dose de 135 kg ha⁻¹ P_2O_5 .

Figura 7 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para massa seca (MS) da palhada (A), massa seca de colmo (B) e massa seca total (planta inteira) (C) da cana-planta.



** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 25 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para massa seca (MS) da palhada, massa seca de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-planta.

MS palhada (kg ha ⁻¹) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	8.800 d	13.094 c	16.764 a	13.560 c	12.589 c
Azo	9.950 d	14.432 b	11.365 c	15.058 b	15.112 b
Bac	13.847 c	16.956 a	13.941 b	14.140 c	19.056 a
Pseud	15.125 c	19.499 a	17.172 a	12.617 c	17.813 a
Azo + Bac	19.280 b	15.476 b	13.713 b	13.409 c	12.188 c
Azo + Pseud	15.995 c	15.375 b	16.024 a	17.817 a	18.069 a
Bac + Pseud	23.222 a	18.401 a	17.443 a	16.275 b	14.751 b
Azo + Bac + Pseud	20.185 b	11.865 c	11.642 c	12.553 c	13.973 b
Erro padrão	729				
MS colmo (kg ha ⁻¹) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	43.270 e	51.564 d	65.142 b	55.978 c	56.208 b
Azo	44.157 e	52.768 d	58.764 c	62.795 b	55.312 b
Bac	59.663 c	55.796 c	54.918 c	54.144 c	46.113 d
Pseud	66.306 b	59.762 c	57.667 c	60.468 b	57.994 b
Azo + Bac	57.662 c	72.157 a	54.723 c	58.123 b	55.756 b
Azo + Pseud	54.500 d	68.745 a	69.074 a	70.861 a	66.650 a
Bac + Pseud	74.147 a	64.080 b	61.603 b	58.892 b	55.149 b
Azo + Bac + Pseud	63.981 b	46.315 e	54.114 c	58.492 b	51.449 c
Erro padrão	1.499				
MS total (kg ha ⁻¹) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	52.070 d	64.658 d	81.906 a	69.538 c	68.798 c
Azo	54.107 d	67.200 d	70.129 c	77.853 b	70.424 c
Bac	73.509 c	72.752 c	68.859 c	68.283 c	65.169 c
Pseud	81.431 b	79.260 b	74.839 b	73.084 c	75.806 b
Azo + Bac	76.941 c	87.632 a	68.436 c	71.532 c	67.944 c
Azo + Pseud	70.495 c	84.120 a	85.097 a	88.678 a	84.719 a
Bac + Pseud	97.369 a	82.480 b	79.046 a	75.167 c	69.900 c
Azo + Bac + Pseud	84.166 b	58.180 e	65.756 c	71.045 c	65.422 c
Erro padrão	1.714				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

A combinação Azo+Bac aliada à dose de 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ aumentou a massa seca de colmos e a massa seca total da cana-planta, em relação às outras inoculações na mesma dose, não diferindo apenas de Azo+Pseud (Tabela 25). Os incrementos que o primeiro tratamento citou proporcionou, em relação à testemunha S.I. foram de 18% (1,2 vezes) na massa seca da palhada, 40% (1,4 vezes) na massa seca de colmos e 36% (1,4 vezes) na massa seca total.

A inoculação com Bac+Pseud na ausência de fertilizante fosfatado, propiciou os maiores acúmulos de massa seca das diferentes partes da planta, de todos os tratamentos (Tabela 25). Neste tratamento, os incrementos em relação à testemunha S.I. foram de 164, 71 e 87% (2,6; 1,7 e 1,9 vezes) para massa seca de palhada, massa seca de colmos e massa seca total, respectivamente.

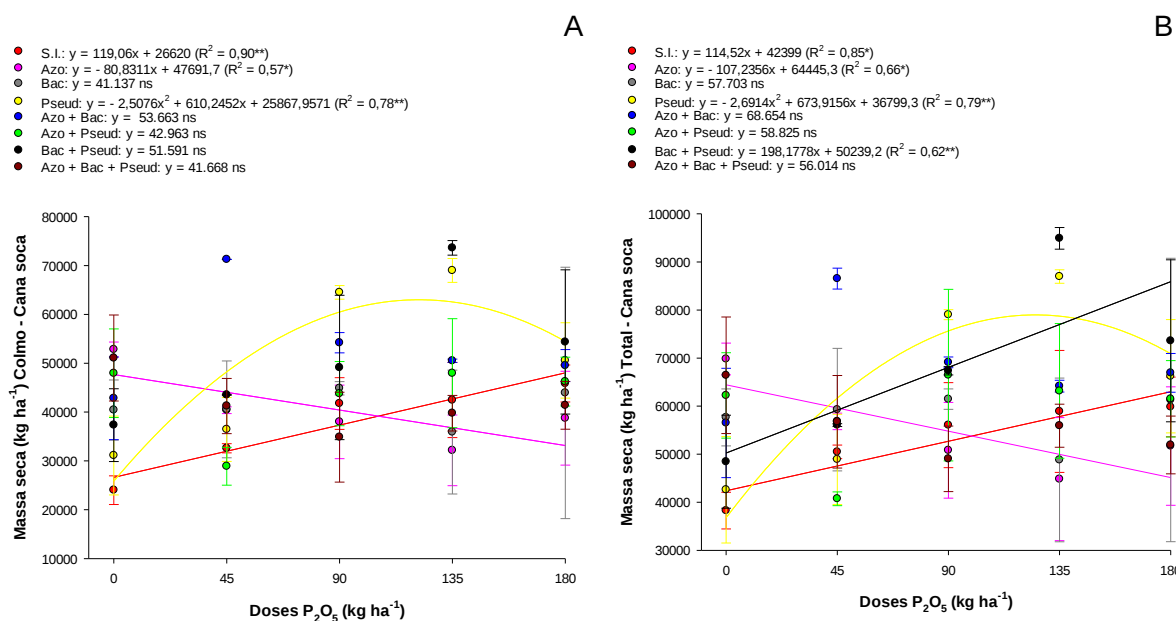
No geral, nas doses de 45 e 135 kg ha⁻¹ P₂O₅ observou-se efeito positivo mais pronunciado das inoculações com as BPCPs para com a massa seca da cana-planta (Tabela 25).

5.8.2 Cana-soca

O acúmulo de massa seca no final do segundo ciclo da cultura (1^a cana-soca) foi determinado aos 387 DAC. Observa-se para o acúmulo de massa seca de colmos e massa seca total da parte aérea (colmo + palhada), em cana-soca, que houve interação significativa entre doses de P₂O₅ e inoculações (Tabela 24). Em contrapartida, o acúmulo de massa seca da palhada (ponteiro + folhas) não foi influenciado significativamente pelos tratamentos estudados.

Considerando a massa seca de colmos, ocorreu ajuste quadrático para inoculação com Pseud até a dose de 122 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 8A), de maneira que, aplicando-se tal dose o acúmulo de massa seca de colmos estimado seria de 62995 kg ha⁻¹. Ocorreram também nessa variável ajustes lineares, decrescente para Azo e crescente para S.I., demonstrando que a inoculação com essa BPCP age de forma a reduzir a aplicação de fertilizantes fosfatados, pois tem efeito positivo mais pronunciado em doses mais baixas de P₂O₅, e efeito contrário é observado na ausência de inoculação.

Figura 8 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para massa seca (MS) de colmo (A) e massa seca total (planta inteira) (B), da cana-soca.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

O mesmo comportamento e os mesmos tipos de ajustes foram verificados para a massa seca total, exceto que nessa variável a inoculação com Bac também apresentou ajuste, que foi crescente, e o ajuste quadrático de Pseud ocorreu até a dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 8B), visto que, se fosse aplicada essa dose o acúmulo de massa seca de colmos estimado seria de 78986 kg ha^{-1} .

A inoculação com Bac+Pseud associada à dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , apresentou os maiores valores de massa seca de colmos e massa seca total entre todos os tratamentos estudados (Tabela 26). Dentro dessa dose, tal inoculação não diferiu apenas da inoculação com Pseud e superou os demais tratamentos, com incrementos de 73 e 61% para massa seca de colmos e massa seca total, respectivamente, em relação à testemunha S.I.

Azo+Bac associada a dose de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 também apresentou elevados valores de massa seca de colmos e massa seca total, superando todas as demais inoculações dessa mesma dose, com incrementos de 119% para massa seca de colmos e 71% para a massa seca total, quando comparados a S.I. (Tabela 26).

Tabela 26 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para massa seca (MS) de colmo e massa seca total (planta inteira) da cana-soca.

MS colmo (kg ha ⁻¹) Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	24.014 b	32.585 b	41.751 b	42.466 b	45.862 a
Azo	52.820 a	40.375 b	37.994 b	32.151 b	38.745 a
Bac	40.422 a	40.554 b	44.880 b	35.906 b	43.924 a
Pseud	31.104 b	36.436 b	64.508 a	68.994 a	50.574 a
Azo + Bac	42.818 a	71.262 a	54.206 a	50.508 b	49.520 a
Azo + Pseud	47.952 a	28.892 b	43.774 b	47.957 b	46.240 a
Bac + Pseud	37.326 b	43.533 b	49.131 b	73.616 a	54.352 a
Azo + Bac + Pseud	51.080 a	41.241 b	34.871 b	39.764 b	41.387 a
Erro padrão	5.677				
MS total (kg ha ⁻¹) Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	38.266 b	50.489 b	56.049 a	58.899 b	59.828 a
Azo	69.823 a	56.818 b	50.817 a	44.819 b	51.695 a
Bac	57.659 a	59.280 b	61.461 a	48.820 b	61.294 a
Pseud	42.612 b	48.922 b	79.036 a	86.969 a	66.220 a
Azo + Bac	56.496 a	86.544 a	69.120 a	64.168 b	66.940 a
Azo + Pseud	62.239 a	40.731 b	66.453 a	63.172 b	61.531 a
Bac + Pseud	48.443 b	56.050 b	67.369 a	94.917 a	73.599 a
Azo + Bac + Pseud	66.421 a	56.761 b	49.036 a	55.928 b	51.925 a
Erro padrão	7.024				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

É importante salientar que na maior dose de fósforo aplicada, as inoculações não afetaram essas duas variáveis (Tabela 26), o que leva a pensar que, doses elevadas de P_2O_5 possivelmente não influenciam na capacidade de promoção de crescimento, resistência a patógenos e solubilização de nutrientes desses microrganismos. O que provavelmente pode ter ocorrido pelo fato de que, em maiores doses, a planta já tem quantidades suficientes de P disponível para sua absorção, assim não necessitando gastar energia através de associações com bactérias. O mesmo ocorreu para a massa seca total na dose de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Nas lavouras sucroalcooleiras, visando satisfazer a questões ambientais, agrônômicas, sociais e econômicas, a colheita manual com queima prévia da cana-de-açúcar foi substituída pela colheita mecanizada, na qual folhas e ponteiros

(meristema/ápice em desenvolvimento) atualmente são deixados sobre a superfície do solo, representando um volume de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa seca (TRIVELIN *et al.*, 2013).

Leite *et al.* (2016), estudando três variedades de cana-de-açúcar (1ª cana-soca) em três localidades do estado de SP (solos com teores baixo e médio de P), obtiveram valor médio das três variedades de 57000 kg ha⁻¹ para a massa seca da parte aérea da cana-de-açúcar (colmo + palhada), sendo que 37000 kg ha⁻¹ correspondiam à massa seca de colmos e 20000 kg ha⁻¹ correspondiam à massa seca da palhada (ponteiro + folhas). Tais médias encontradas por esses autores foram um pouco inferiores às encontradas no presente experimento, exceto para a massa seca da palhada, que foi maior (Tabela 24). Esses comportamentos podem ter ocorrido devido a diversos fatores, como variedades utilizadas, clima e solo.

Borges *et al.* (2019) relataram que a eficiência de uso do P e a produção de massa seca da cana-de-açúcar podem aumentar em solos intemperizados quando fontes de P orgânicas e inorgânicas são aplicadas combinadas ao solo para atender a demanda por este elemento.

Calheiros *et al.* (2012), trabalhando em solo com baixo teor de P, com a mesma variedade do presente trabalho (RB92579), encontraram valores médios de 35253 kg ha⁻¹ para massa seca da parte aérea (folhas + colmos), em cana-planta, valor este inferior ao encontrado no presente trabalho, de 73595 kg ha⁻¹ (Tabela 24).

Caione, Fernandes e Lange (2013), estudando os efeitos da aplicação de fontes de P na dose de 100 kg ha⁻¹ (inclusive de superfosfato triplo) no sulco de plantio de duas variedades de cana-de-açúcar na cana-planta, 1 e 2ª cana-soca, observaram que os maiores efeitos da adubação fosfatada ocorreram no 1º ciclo (cana-planta), promovendo maior produtividade de fitomassa, de modo que, o residual das doses de superfosfato triplo não surtiram efeito na fitomassa da 1ª e 2ª cana-soca, diferentemente do que ocorreu para a massa seca do presente estudo.

Inoculações combinadas podem resultar em efeito sinérgico, que é o que pode ter ocorrido no presente trabalho para as combinações duplas de bactérias, que obtiveram maior destaque do que as inoculações individuais ou tripla, para o acúmulo de massa seca da cana-de-açúcar, tanto na cana-planta quanto na cana-soca. Khan e Zaidi (2007) relataram que a combinação de *Bacillus* sp. e *Azotobacter chroococcum* com *Glomus fasciculatum* (um fungo micorrízico arbuscular) aumentou

significativamente a massa seca em cerca de 2,6 vezes em relação à testemunha não inoculada.

Bakhshandeh, Pirdashti e Gilani (2018) reportaram que a inoculação isolada ou combinada (coinoculação) de microrganismos promotores de crescimento em sementes de arroz aumentou a biomassa seca entre 11 e 24%, em comparação as plantas não inoculadas, demonstrando que a interação sinérgica dos microrganismos tem sido uma importante alternativa para melhorar o crescimento, produtividade e sanidade das culturas, principalmente sob condições de estresse bióticos ou abióticos.

Díaz-Zorita, Baliña, Canigia (2012) relataram que, quando *Azospirillum brasilense* foi combinado com *Sinorhizobium meliloti* a massa seca da pastagem de alfafa inoculada praticamente dobrou (incremento de 94%).

Park *et al.* (2015) ao investigarem o efeito de compostos voláteis produzidos por *Pseudomonas fluorescens* no crescimento de plantas de tabaco, descreveram que as mesmas aumentaram em até 9,5 vezes a massa seca das plantas.

Tahir *et al.* (2017) relataram que a inoculação com *Bacillus subtilis* incrementou a massa seca de plantas de tomate em 3,3 vezes e o comprimento da parte aérea de raiz em 1,4 vezes cada. Os autores relataram ainda aumento na taxa fotossintética e no conteúdo de auxina, que podem estar relacionadas à essa promoção de crescimento das plantas.

Estudando a inoculação de um coquetel de BPCPs (contendo *Azospirillum*) associada à aplicação de doses de N em soqueira de cana-de-açúcar também da variedade RB92579, Oliver e Silva (2018), observaram que quando foi utilizada a inoculação associada à dose máxima de fertilizante testada (120 kg ha⁻¹ de N), o acúmulo de massa seca de colmos e de massa seca total foram prejudicados. Em contrapartida, o inoculante associado às doses intermediárias de N (60 e 90 kg ha⁻¹) incrementou essas variáveis, demonstrando que doses elevadas de fertilizantes podem inibir as atividades desses microrganismos. O mesmo foi observado no presente trabalho para algumas inoculações, como é o exemplo de Bac e Bac+Pseud em cana-planta e Azo em cana-soca (Figuras 7 e 8).

Analizando diversos trabalhos publicados na literatura, Cassán e Díaz-Zorita (2016) afirmam que o cultivo de milho inoculado com *A. brasilense* em áreas de sequeiro de diferentes regiões da América do Sul, manifestaram maior crescimento vegetativo com maior acúmulo de massa seca da parte aérea (em média 8%), e foram relatados comportamentos semelhantes nas culturas do trigo e cevada sob diferentes

condições ambientais. Ainda esses autores relatam que quando desenvolvendo experimentos em dois locais dos pampas semiáridos e subúmidos, utilizando centeio como cultura de cobertura, encontrou-se incremento de 13% (500 kg ha^{-1}) na produção de massa seca de plantas inoculadas com *Azospirillum brasilense* em relação às não inoculadas, relatando que tal incremento só foi possível devido à associação com fertilizante nitrogenado, enfatizando a necessidade complementar de ambas as práticas (inoculação e adubação).

Estudando a aplicação de N aliada à inoculação com *Azospirillum brasilense* ou *Pseudomonas fluorescens* na cultura do trigo, Naiman, Latrónico e Salamone (2009) observaram que a massa seca da parte aérea das plantas não apresentou aumento quando foi adubada com ureia, mas se elevou quando inoculada com as bactérias.

Santos *et al.* (2019), pesquisando o enraizamento e crescimento de mudas de cana-de-açúcar pré-germinadas inoculadas com BPCPs, relataram aumento da biomassa seca da parte aérea por todas as cepas testadas, inclusive *Azospirillum*, na variedade IACSP95-5000.

Foi identificada a produção de citocininas por *Azospirillum brasilense* que tem sido documentado como uma influência muito positiva no crescimento da parte aérea da planta (VACHERON *et al.*, 2013), visto que esse hormônio vegetal é responsável pela divisão celular, abertura estomática, podendo controlar a quantidade de folhas no meristema apical e os níveis de clorofila nas folhas.

5.9 ACÚMULO DE NUTRIENTES NA CANA-DE-AÇÚCAR

5.9.1 Acúmulo de nutrientes na palhada (ponteiro + folhas)

A respeito do acúmulo de macronutrientes na palhada (ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar, N e K em cana-planta, e Mg em cana-soca, foram influenciados significativamente apenas pelo efeito isolado das inoculações com BPCPs (Tabela 27).

Tabela 27 - Acúmulo de macronutrientes na palhada (folhas + ponteiro) da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

N palhada		P palhada		K palhada		Ca palhada		Mg palhada		S palhada		
(kg ha ⁻¹)												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	105,44	92,48	13,30	7,98	252,67	118,37	51,49	40,92	23,01	22,57	20,74	12,21
45	115,47	92,84	14,43	7,90	257,72	115,79	45,12	38,27	26,68	21,94	20,35	12,72
90	112,46	93,97	16,85	8,57	245,58	101,05	46,96	34,95	29,22	19,57	18,91	13,60
135	100,42	105,68	16,39	9,59	255,74	109,61	41,33	37,30	26,77	21,06	18,79	12,53
180	104,19	99,48	17,42	9,23	264,26	109,08	43,19	36,68	23,39	21,66	18,95	12,70
Inoculação												
S.I.	77,68 d	100,96 a	12,27	8,59 a	198,03 e	120,46 a	37,18 e	35,97 a	20,04 d	21,85 b	15,95 e	12,09
Azo	96,99 c	96,00 a	10,28	8,44 a	173,21 f	104,96 a	41,31 d	34,81 a	22,70 c	20,86 b	16,79 e	11,83
Bac	105,90 c	100,18 a	15,90	9,45 a	270,57 c	114,40 a	45,15 c	38,64 a	29,97 b	20,98 b	19,90 c	14,14
Pseud	119,04 b	93,72 a	18,49	9,42 a	266,89 c	106,75 a	50,21 b	35,48 a	28,44 b	18,78 b	20,86 b	12,56
Azo + Bac	101,31 c	107,61 a	17,15	9,39 a	243,78 d	116,86 a	41,07 d	36,58 a	21,66 c	20,34 b	18,50 d	12,52
Azo + Pseud	125,67 a	89,77 a	16,38	8,15 a	287,38 b	117,45 a	55,45 a	44,54 a	34,62 a	25,95 a	21,71 b	12,33
Bac + Pseud	128,92 a	94,99 a	19,88	6,89 a	343,15 a	95,54 a	51,37 b	38,42 a	28,48 b	21,05 b	24,71 a	13,82
Azo + Bac + Pseud	105,25 c	91,91 a	15,08	8,89 a	258,53 d	109,81 a	43,21 c	36,56 a	20,62 d	21,05 b	17,95 d	12,73
Erro Padrão	2,60	7,05	0,35	0,74	5,72	10,68	1,08	2,75	0,68	1,42	0,46	0,97
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	**	ns	**	ns
Inoculação (I)	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns	**	*	**	ns
D x I	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
C.V. (5%)	7,64	23,01	7,02	27,00	7,09	15,27 #	7,48	23,15	8,31	21,00	7,41	24,07
Média geral	107,59	96,89	15,68	8,65	255,19	110,78	45,62	37,63	25,81	21,36	19,55	12,75

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

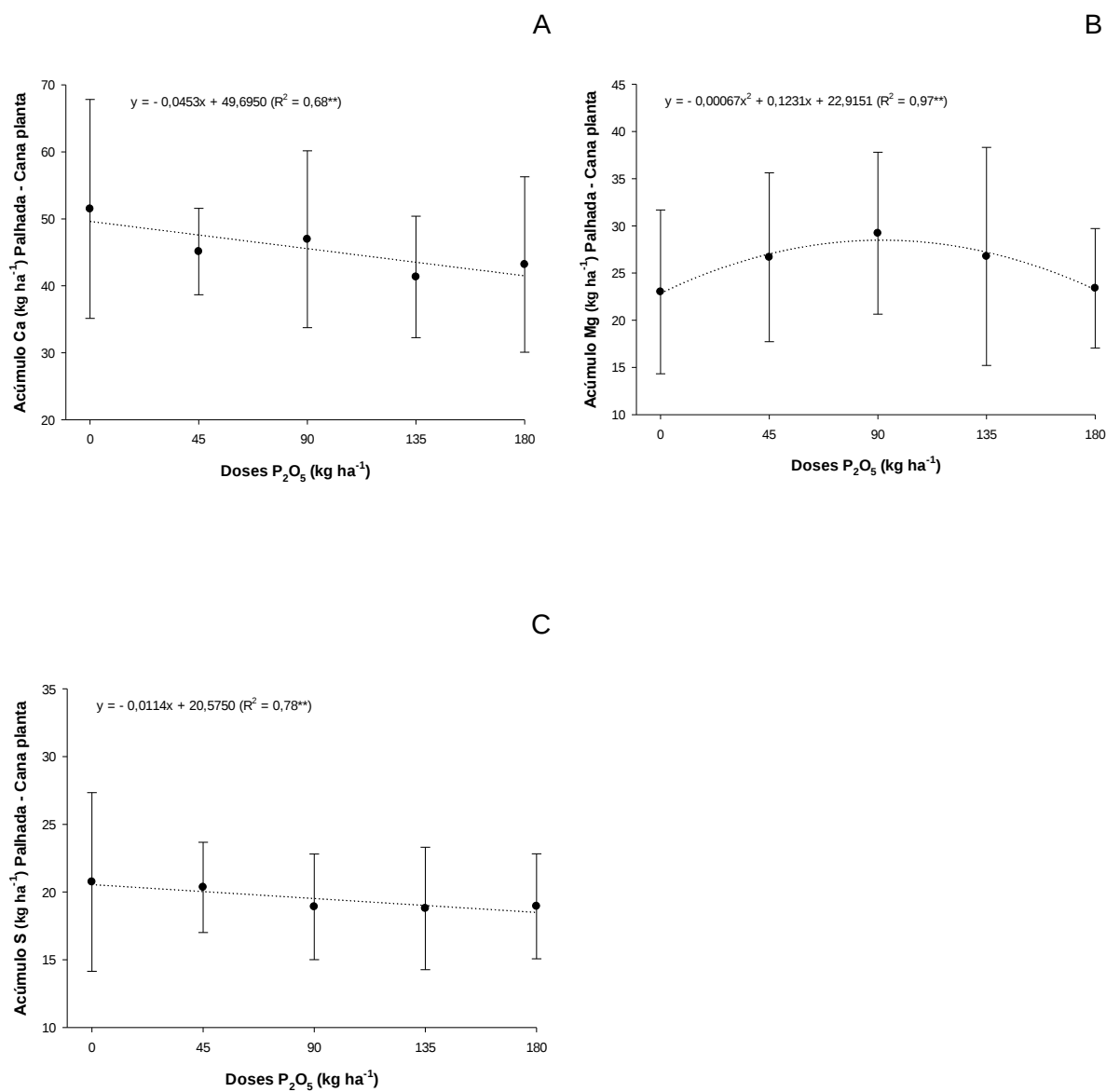
Para o N, as inoculações com Azo+Pseud e Bac+Pseud foram superiores às demais, com incrementos de 62 e 66% em relação à testemunha S.I., respectivamente e, todas as inoculações foram superiores a S.I. No acúmulo de K, a inoculação com Bac+Pseud foi superior à todas as demais, com incremento de 73% quando comparada a S.I., que novamente apresentou o menor acúmulo de K, assim como havia acontecido para o N. O segundo maior acúmulo de K se deu com inoculação de Azo+Pseud. Tais resultados demonstram o efeito destas bactérias no aumento do acúmulo de N e K em cana-planta, variedade RB92579. Para o acúmulo de Mg em cana-soca, apenas a inoculação com Azo+Pseud foi superior às demais, incrementando em 19% este acúmulo.

O acúmulo de Ca, Mg e S na palhada da cana-planta, foram influenciados tanto pelas inoculações quanto pelas doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 27). Para o efeito isolado de doses, ocorreu ajuste quadrático até a dose de 92 kg ha^{-1} de P_2O_5 para Mg e, ajuste linear decrescente para Ca e S, visto que, a medida que se aumentava as doses de fósforo, o acúmulo desses nutrientes na planta era reduzido (Figura 9).

Em cana-planta, o acúmulo de Ca foi superior com a inoculação de Azo+Pseud, diferindo das demais doses, superior em 49% em relação à testemunha S.I. que apresentou o menor acúmulo desse nutriente (Tabela 27). O acúmulo de Mg também apresentou o mesmo comportamento (incremento de 73%), com exceção de que a inoculação tripla (Azo+Bac+Pseud) não diferiu da testemunha S.I. O acúmulo de S foi maior na inoculação com Bac+Pseud, diferindo das demais inoculações e com incremento de 55% em relação à S.I. que foi estatisticamente igual a Azo.

O acúmulo de S na palhada da cana-soca foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 27). Houve ajuste a função linear crescente para inoculação com Bac+Pseud e a funções lineares decrescentes para Azo e Azo+Bac+Pseud (Tabela 28). Apenas com a aplicação da dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , os tratamentos diferiram entre si, posto que, a inoculação com Bac+Pseud foi a única que diferiu sendo superior as demais, com incremento de 134% em relação a S.I. na mesma dose.

Figura 9 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo na palhada, de Ca (A), Mg (B) e S (C), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 28 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de S na palhada da cana-soca.

Inoculação	Acúmulo S palhada (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	10,88 a	15,89 a	13,80 a	9,16 b	10,74 a
Azo	14,81 a	14,27 a	11,59 a	8,81 b	9,66 a
Bac	15,22 a	15,34 a	14,11 a	10,68 b	15,38 a
Pseud	9,98 a	11,76 a	13,27 a	14,42 b	13,36 a
Azo + Bac	11,74 a	12,66 a	12,73 a	11,43 b	14,04 a
Azo + Pseud	12,28 a	7,91 a	17,03 a	11,81 b	12,65 a
Bac + Pseud	8,27 a	9,20 a	12,84 a	21,48 a	17,32 a
Azo + Bac + Pseud	14,50 a	14,75 a	13,48 a	12,46 b	8,47 a
Erro padrão	2,17				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação): $y = 12^{ns}$

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = -0,0350x + 14,9780$ ($R^2 = 0,87^*$)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 14^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 13^{ns}$

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 13^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 12^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 0,0675x + 7,7410$ ($R^2 = 0,74^{**}$)

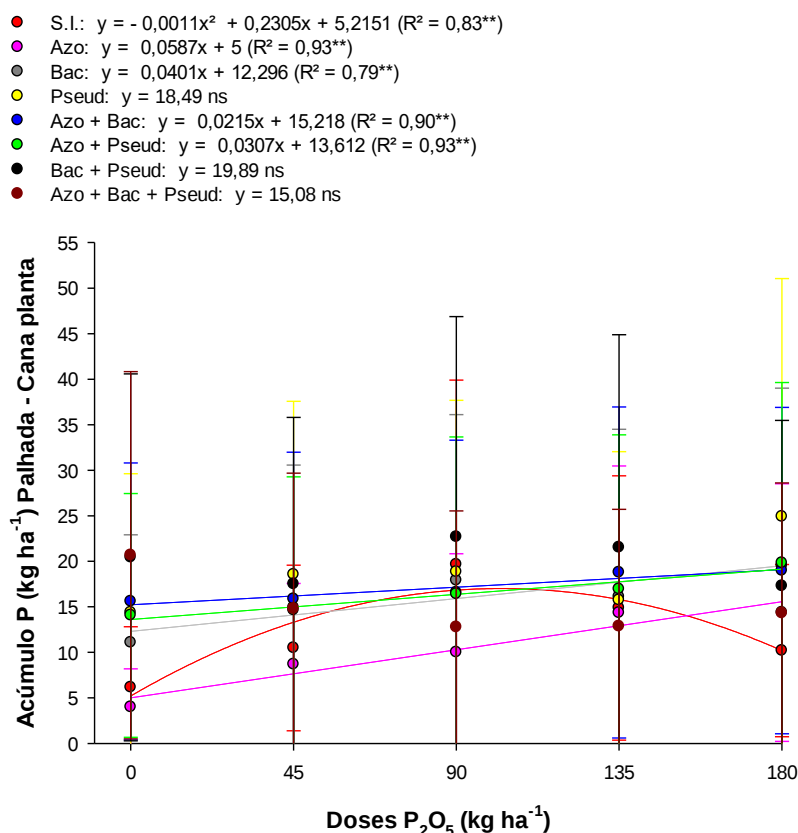
Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0319x + 15,5980$ ($R^2 = 0,79^*$)

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo de P na palhada da cana-planta também foi influenciado pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 27). Ocorreram ajustes lineares crescentes para Azo, Bac, Azo+Bac e Azo+Pseud, e ajuste quadrático para S.I. até a dose de 105 kg ha⁻¹ P_2O_5 (Figura 10). A inoculação com Bac+Pseud elevou o acúmulo de P na palhada nas doses 0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ P_2O_5 , o que ocorreu também para a inoculação com Pseud associada à dose 45 e 180 kg ha⁻¹ P_2O_5 e Azo+Bac+Pseud na ausência da adubação fosfatada (Tabela 29). O maior valor de P acumulado na palhada da cana-planta se deu na dose de 180 kg ha⁻¹ P_2O_5 com a inoculação de Pseud (incremento de 145% em relação à S.I. na mesma dose), o qual foi semelhante ao valor obtido com a inoculação de Bac+Pseud associado a dose de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Figura 10 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo de P na palhada da cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).
 Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 29 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de P na palhada da cana-planta.

Inoculação	Acúmulo P palhada (kg ha ⁻¹) Cana-planta				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	6,16 d	10,48 c	19,64 b	14,88 d	10,19 d
Azo	4,00 d	8,69 c	10,00 d	14,33 d	14,38 c
Bac	11,08 c	14,92 b	17,91 b	16,10 c	19,51 b
Pseud	14,39 b	18,55 a	18,84 b	15,73 c	24,93 a
Azo + Bac	15,60 b	15,85 b	16,57 c	18,77 b	18,98 b
Azo + Pseud	14,07 b	14,63 b	16,41 c	16,95 c	19,82 b
Bac + Pseud	20,43 a	17,51 a	22,68 a	21,53 a	17,28 b
Azo + Bac + Pseud	20,67 a	14,79 b	12,77 d	12,86 d	14,31 c
Erro padrão			0,78		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta inoculada com BPCPs e adubada com fósforo foi de cerca de 108, 16, 255, 46, 26 e 20 kg ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 40, 45, 26, 64, 36 e 24% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (ponteiro + folhas + colmos) (Tabela 27). Assim sendo, o acúmulo de macronutrientes na palhada da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > Ca > Mg > S > P.

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S na palhada (ponteiro + folhas) foi de cerca de 97, 9, 111, 38, 21 e 13 kg ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 42, 48, 23, 39, 29 e 34% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (ponteiro + folhas + colmos) (Tabela 27). Dessa forma, o acúmulo de macronutrientes na palhada da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior, também apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > Ca > Mg > S > P.

Com relação ao acúmulo de micronutrientes na palhada da cana-de-açúcar, Mn e Zn em cana-planta, e Cu em cana-soca, foram influenciados apenas pelo efeito isolado das inoculações (Tabela 30). O acúmulo de Mn na palhada da cana-planta foi maior com a inoculação de Pseud e Azo+Pseud, diferindo das demais inoculações, e essa última também levou ao maior acúmulo de Zn na cana-planta. Os incrementos em relação a testemunha S.I. foram de 53 e 70% para acúmulo de Mn e Zn na inoculação com Azo+Pseud, respectivamente, e de 63% para o acúmulo de Mn na inoculação com Pseud.

O acúmulo de Cu na palhada da cana-soca, foram superiores nas inoculações com Azo, Bac+Pseud e Azo+Bac+Pseud, entretanto não diferindo da testemunha S.I. (Tabela 30).

O acúmulo de B, Cu e Fe na palhada da cana-planta foram influenciados tanto pelas inoculações quanto pelas doses de P₂O₅ aplicadas (Tabela 30). Para o efeito isolado de doses, ocorreu ajuste linear crescente para o acúmulo de Cu e ajustes lineares decrescentes para o acúmulo de B e Fe, de modo que para esses últimos a medida que se aumentavam as doses de fósforo o acúmulo desses dois nutrientes era diminuído (Figura 11).

Tabela 30 - Acúmulo de micronutrientes na palhada (folhas + ponteiro) da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

	B palhada		Cu palhada		Fe palhada		Mn palhada		Zn palhada	
Doses de P ₂ O ₅	(g ha ⁻¹)									
(kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	295,34	151,61	98,70	17,07	7357,38	1539,99	1492,58	716,29	282,68	156,11
45	283,77	148,40	109,82	23,15	7286,97	1560,33	1805,06	686,45	268,90	140,11
90	276,82	154,16	123,31	31,87	6093,50	1513,97	1595,79	546,95	261,27	145,47
135	248,61	142,54	125,55	16,66	5047,61	1497,01	1539,37	552,03	284,77	150,36
180	256,13	138,10	131,53	22,36	5551,77	1432,41	1623,90	597,32	323,00	156,88
Inoculação										
S.I.	237,74 d	162,09 a	53,44 e	27,19 a	4808,76 d	1620,60 a	1249,35 d	704,95 a	220,19 e	124,79 a
Azo	242,53 d	157,21 a	97,34 d	24,55 a	4656,43 d	1413,38 a	1407,08 c	702,95 a	232,50 e	144,12 a
Bac	259,13 c	166,55 a	136,46 b	16,57 b	5931,06 c	1684,53 a	1536,71 c	615,98 a	293,90 c	155,33 a
Pseud	253,77 c	116,76 a	126,15 c	16,76 b	7649,14 a	1467,02 a	2041,15 a	621,85 a	275,74 d	148,22 a
Azo + Bac	235,47 d	139,96 a	117,55 c	14,88 b	7922,87 a	1402,87 a	1444,69 c	566,25 a	244,77 e	170,19 a
Azo + Pseud	312,77 b	152,50 a	160,57 a	17,26 b	7938,90 a	1624,98 a	1913,81 a	667,07 a	373,99 a	180,77 a
Bac + Pseud	368,51 a	148,32 a	150,69 a	32,81 a	6661,12 b	1350,21 a	1737,04 b	498,52 a	327,43 b	151,34 a
Azo + Bac + Pseud	267,16 c	132,33 a	100,05 d	27,77 a	4571,29 d	1506,37 a	1560,91 c	580,92 a	304,47 c	123,54 a
Erro Padrão	6,90	12,40	4,05	3,11	133,32	124,13	54,99	70,27	7,51	12,74
Teste F										
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	**	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	8,01	26,69	10,87	20,41 [#]	6,73	26,02	10,79	18,54 [#]	8,36	26,90
Média geral	272,13	146,96	117,78	22,22	6267,44	1508,74	1611,34	619,81	284,12	149,79

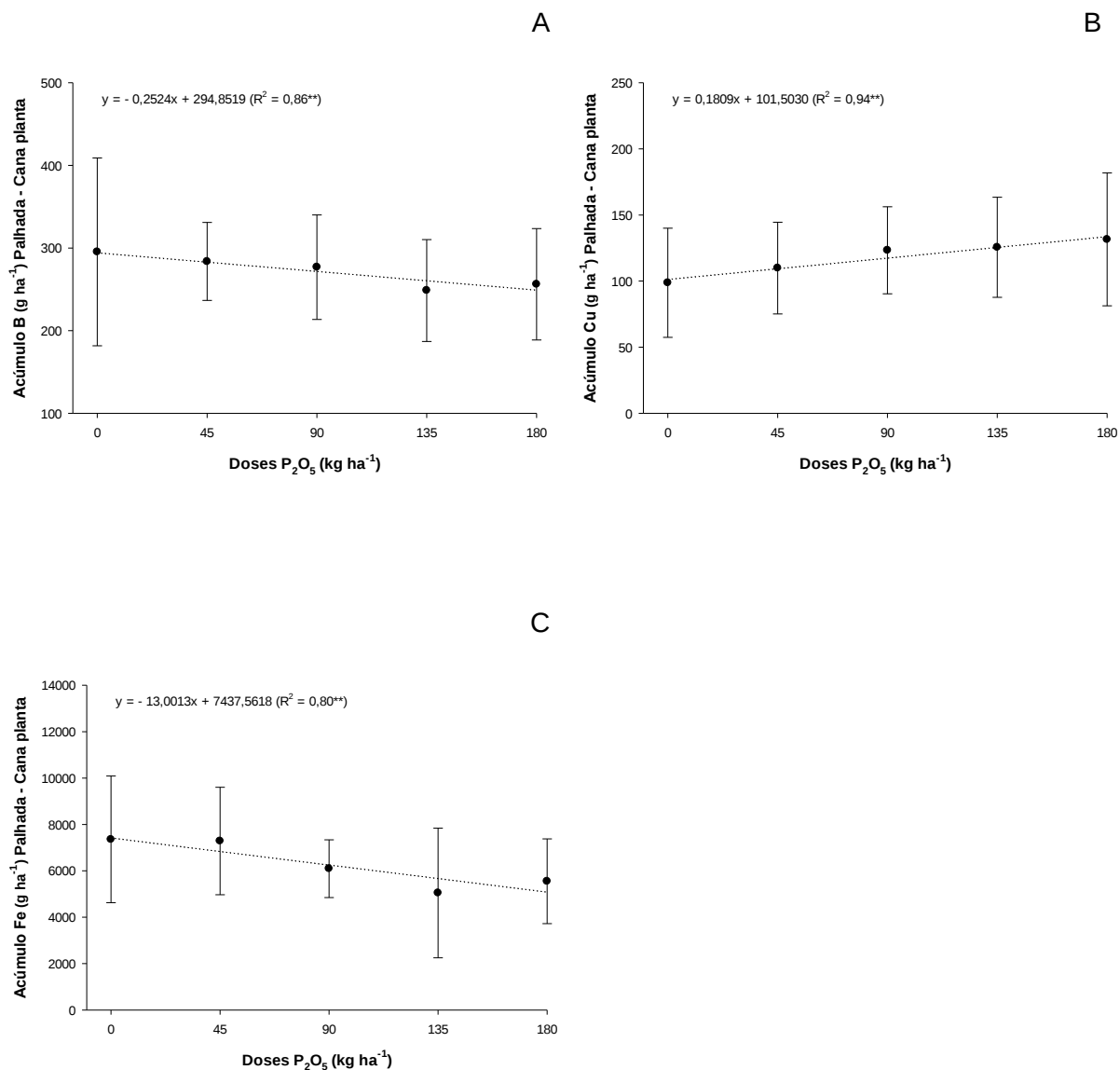
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 11 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo na palhada, de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Na cana-planta, o acúmulo de B se destacou com a inoculação de Bac+Pseud, sendo superior as demais inoculações e apresentando incremento de 55% quando comparada a testemunha S.I. (Tabela 30). Essa mesma inoculação, juntamente com Azo+Pseud, se destacaram para o acúmulo de Cu, com incrementos de 182 e 200% em relação a S.I. O acúmulo de Fe foi maior nas inoculações com Pseud, Azo+Bac e Azo+Pseud, superando as demais inoculações.

O acúmulo médio dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn na palhada (ponteiro + folhas) da cana-planta, inoculada com BPCPs e adubada com fósforo, foi de cerca de 272, 118, 6267, 1611 e 284 g ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 22, 16, 38, 22 e 24% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (ponteiro + folhas + colmos) (Tabela 30). Logo, o acúmulo de micronutrientes na palhada da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo médio dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn na palhada (ponteiro + folhas) foi de cerca de 147, 22, 1508, 620 e 150 g ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 36, 14, 49, 43 e 22% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (ponteiro + folhas + colmos) (Tabela 30). Deste modo, o acúmulo de micronutrientes na palhada da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior, também apresentou a seguinte ordem decrescente Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Observa-se uma predominância do efeito benéfico das combinações de Azo+Pseud e Bac+Pseud proporcionando maiores acúmulos de macro e micronutrientes na palhada da cana-de-açúcar.

5.9.2 *Acúmulo de nutrientes nos colmos (Exportação)*

Tratando-se do acúmulo de macronutrientes nos colmos (ou exportação) da cana-de-açúcar, N e S em cana-soca e Ca em cana-planta foram influenciados significativamente apenas pelo efeito isolado das inoculações com BPCPs (Tabela 31).

Tabela 31 - Acúmulo de macronutrientes no colmo da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

N colmo		P colmo		K colmo		Ca colmo		Mg colmo		S colmo		
(kg ha ⁻¹)												
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	146,64	124,16	16,63	7,06	656,56	321,06	23,41	54,25	47,44	46,63	60,52	23,05
45	163,42	130,75	18,53	7,78	740,85	345,00	28,81	54,03	44,42	47,67	66,38	22,81
90	171,11	142,19	23,17	9,99	765,29	369,28	26,39	61,69	50,47	53,79	67,17	23,65
135	175,37	141,12	19,11	10,99	805,22	406,68	26,21	66,96	44,18	55,61	65,01	26,54
180	152,92	130,12	17,86	11,00	714,00	394,91	25,05	59,76	38,73	53,60	57,20	25,00
Inoculação												
S.I.	162,24 c	113,41 b	16,19	8,41 b	630,41	300,50	8,32 e	47,45	36,43 d	44,19	45,44	21,84 b
Azo	139,97 f	115,76 b	15,80	8,46 b	682,27	343,54	24,21 b	54,05	37,68 d	45,89	56,54	23,31 b
Bac	148,27 e	122,01 b	19,28	8,81 b	777,00	338,10	19,63 c	55,58	45,08 c	46,87	71,00	24,84 b
Pseud	154,76 d	152,97 a	22,41	12,05 a	745,02	454,50	23,78 b	68,53	43,93 c	58,55	75,93	29,55 a
Azo + Bac	162,54 c	162,28 a	22,94	10,05 a	736,58	405,53	19,53 c	68,64	50,41 b	61,00	59,36	26,67 a
Azo + Pseud	197,91 a	133,93 b	20,38	9,26 b	734,95	377,16	25,57 b	57,44	42,38 c	50,68	75,07	23,12 b
Bac + Pseud	182,73 b	146,59 a	19,78	10,48 a	1022,18	379,41	71,15 a	68,24	72,28 a	57,35	64,40	23,71 b
Azo + Bac + Pseud	146,71 e	122,39 b	15,68	7,43 b	562,66	340,34	15,58 d	54,78	32,19 e	47,14	58,30	20,64 b
Erro Padrão	2,07	11,10	0,75	0,90	14,69	27,58	0,86	3,69	1,16	3,04	1,23	1,73
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	ns	**	**	**	*	ns	*	**	*	**	ns
Inoculação (I)	**	*	**	*	**	*	**	**	**	**	**	*
D x I	ns	ns	**	ns	**	*	ns	**	ns	**	**	ns
C.V. (5%)	4,04	26,27	12,52	30,45	6,31	23,74	10,43	19,66	8,16	18,70	6,13	22,57
Média geral	161,89	133,67	19,06	9,37	736,38	367,39	25,97	59,34	45,05	51,46	63,25	24,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para o acúmulo de S nos colmos da cana-soca, as inoculações Pseud e Azo+Bac foram superiores as demais, que não diferiram entre si, com incrementos de 35% para Pseud e 22% para Azo+Bac, em relação a testemunha S.I. (Tabela 31). O acúmulo de Ca nos colmos da cana-planta se destacou na inoculação com Bac+Pseud diferindo de todas as demais inoculações, apresentando incremento de 755% quando comparada a testemunha S.I. As três inoculações supracitadas foram responsáveis por elevar o acúmulo de N nos colmos da cana-soca, sendo superiores as outras cinco inoculações (estas não diferindo entre si), com maior incremento para Azo+Bac (43% em relação a S.I.).

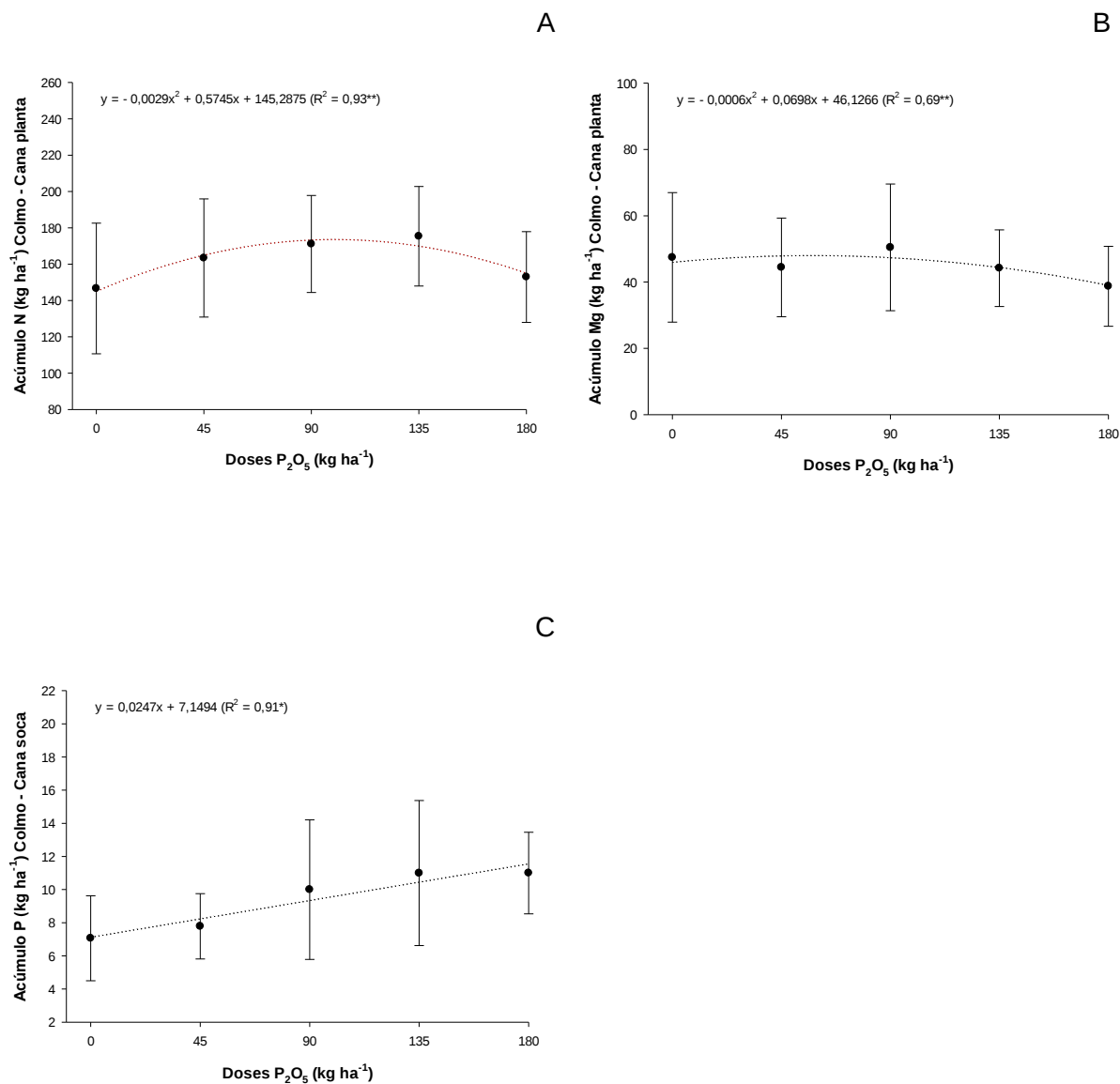
O acúmulo de N e Mg nos colmos de cana-planta e P nos colmos de cana-soca, foram influenciados tanto pelas inoculações quanto pelas doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 31). Para o efeito isolado de doses, ocorreram ajustes quadráticos para o acúmulo de N até a dose de 99 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para o de Mg até a dose de 58 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figuras 12A e 12B). Posto que, para o acúmulo de P ocorreu ajuste linear crescente (a medida que se aumentava as doses de fósforo aplicadas, tal acúmulo se elevava) (Figura 12C)

O N acumulado nos colmos da cana-planta foi maior quando utilizou-se a inoculação com Azo+Pseud, apresentando incremento de 22% em relação a testemunha S.I, e diferindo de todas as demais inoculações, que por sua vez também diferiram entre si (Tabela 31).

O Mg acumulado nos colmos da cana-planta se destacou com a inoculação de Bac+Pseud, também diferindo de todas outras inoculações, que também diferiram entre si (Tabela 31). O incremento para essa variável foi de 98% quando comparada a S.I.

O P acumulado nos colmos da cana-soca foi maior quando utilizou-se três tipos de inoculações (Pseud, Azo+Bac e Bac+Pseud), e diferiu dos demais tratamentos que por sua vez não diferiram entre si (Tabela 31). O maior incremento em relação a S.I. ocorreu com a inoculação de Pseud (43%).

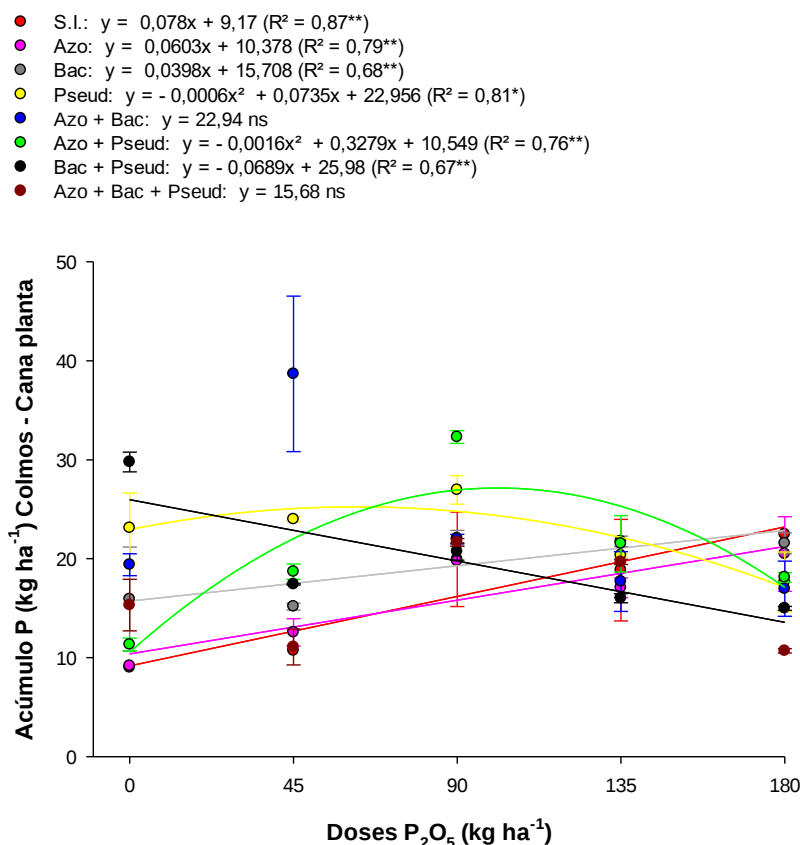
Figura 12 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de N em cana-planta (A), Mg em cana-planta (B) e P em cana-soca (C).



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
 Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo de P nos colmos da cana-planta, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 31). Houve ajuste a funções quadráticas, para inoculação com Pseud até a dose de 61 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para a inoculação com Azo+Pseud até a dose de 102 kg ha^{-1} P_2O_5 (Figura 13). As inoculações Azo, Bac e S.I. se ajustaram a funções lineares crescentes e a inoculação Bac+Pseud a uma função linear decrescente, ou seja, à medida que se aumentaram as doses de fósforo aplicadas, o acúmulo de P diminuiu.

Figura 13 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo de P no colmo da cana-planta.



** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).

Fonte: Elaboração da própria autora.

Ainda sobre o acúmulo de P nos colmos da cana-planta, as maiores doses de fósforo aplicadas (135 e 180 kg ha^{-1} P_2O_5) não influenciaram positivamente essa variável, em combinação com as bactérias (Tabela 32). Contudo, ela foi acrescida com as combinações de Azo+Pseud associada a dose de 90 kg ha^{-1} P_2O_5 , Azo+Bac

associada a dose de 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ e Bac+Pseud sem a aplicação de fósforo, de modo que, o maior acúmulo de P nos colmos foi registrado com a inoculação de Azo+Bac associada à dose de 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ (incremento de 261% em relação a testemunha S.I. na mesma dose). Também foi esse mesmo tratamento responsável por incrementar em 40% a massa seca dos colmos (Tabela 25).

Tabela 32 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P₂O₅, para acúmulo de P no colmo da cana-planta.

Inoculação	Acúmulo P colmo (kg ha ⁻¹) Cana-planta				
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	8,99 d	10,71 d	19,94 c	18,85 a	22,48 a
Azo	9,17 d	12,55 d	19,76 c	17,06 a	20,48 a
Bac	15,91 c	15,16 d	22,05 c	21,75 a	21,56 a
Pseud	23,13 b	24,00 b	26,96 b	20,33 a	17,65 a
Azo + Bac	19,39 b	38,68 a	21,98 c	17,69 a	16,96 a
Azo + Pseud	11,32 d	18,68 c	32,30 a	21,51 a	18,11 a
Bac + Pseud	29,78 a	17,41 c	20,72 c	16,00 a	14,98 b
Azo + Bac + Pseud	15,31 c	11,08 d	21,65 c	19,67 a	10,69 b
Erro padrão			1,69		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

Os acúmulos de K nos colmos da RB92579, em ambos os ciclos de cultivo (cana-planta e 1^a cana-soca), foram influenciados significativamente pelo efeito da interação entre doses de P₂O₅ e inoculações com BPCPs (Tabela 31).

Para o acúmulo de K nos colmos da cana-planta, ocorreram ajustes à funções lineares crescentes para as inoculações com Azo e com Pseud, ajuste à função linear decrescente para inoculação com Bac e, as inoculações com Azo+Pseud, Bac+Pseud e S.I. se ajustaram a funções quadráticas, respectivamente, até as doses de 104, 62 e 103 kg ha⁻¹ P₂O₅ (Tabela 33). A inoculação com Bac+Pseud, aumentou o acúmulo de K nos colmos em todas as doses de P aplicadas, não diferindo da inoculação com Bac na dose 0 e, das inoculações com Azo, Pseud e Azo+Bac na dose de 180 kg ha⁻¹ P₂O₅. Os maiores valores, que obtiveram destaque para essa variável, foi quando se utilizou Bac+Pseud associada a dose de 90 e 135 kg e também na dose 0, com incrementos de 48, 43 e 140%, respectivamente, quando comparados aos valores obtidos por S.I.

Tabela 33 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de K no colmo da cana-planta.

Inoculação	Acúmulo K colmo (kg ha ⁻¹) Cana-planta				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	445,69 c	646,48 c	737,84 c	748,71 c	573,33 b
Azo	451,50 c	601,56 c	712,52 c	791,21 c	854,56 a
Bac	1006,81 a	898,32 b	698,83 c	678,14 d	602,92 b
Pseud	648,14 b	679,89 c	715,25 c	837,72 c	844,12 a
Azo + Bac	544,90 b	842,43 b	677,20 c	789,01 c	829,37 a
Azo + Pseud	480,96 c	799,05 b	826,48 b	898,05 b	670,23 b
Bac + Pseud	1071,42 a	1010,86 a	1094,99 a	1073,30 a	860,33 a
Azo + Bac + Pseud	603,02 b	448,26 d	659,25 c	625,59 d	477,19 c
Erro padrão			32,85		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 .

S.I. (sem inoculação): $y = -0,0294x^2 + 6,0822x + 439,9334$ ($R^2 = 0,99^{**}$ e $PM = 103$ kg ha⁻¹)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 2,2128x + 483,1130$ ($R^2 = 0,97^{**}$)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = -2,2844x + 982,5950$ ($R^2 = 0,93^{**}$)

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 1,2217x + 635,0670$ ($R^2 = 0,92^{**}$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 737$ ^{ns}

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = -0,0370x^2 + 7,7131x + 489,7761$ ($R^2 = 0,94^{**}$ e $PM = 104$ kg ha⁻¹)

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0145x^2 + 1,8078x + 1035,4639$ ($R^2 = 0,68^{**}$ e $PM = 62$ kg ha⁻¹)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 563$ ^{ns}

Fonte: Elaboração da própria autora.

Na cana-soca, o acúmulo de K nos colmos se ajustou a funções lineares crescentes para Azo+Pseud e S.I. e, a uma função quadrática para Bac+Pseud até a dose de 149 kg ha⁻¹ P_2O_5 (Tabela 34). As inoculações com BPCPs não tiveram efeito sob a maior e menor dose de fertilizante fosfatado aplicadas, contudo, nas doses intermediárias, algumas combinações de bactérias (Azo+Bac na dose 45 kg ha⁻¹ P_2O_5 , Azo+Pseud e Bac+Pseud na dose 135 kg ha⁻¹ P_2O_5) e até *Pseudomonas fluorescens* aplicada individualmente nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ P_2O_5 , aumentaram o acúmulo de K nos colmos da cana-soca, sendo esse último tratamento o que provocou maior incremento (68%) em relação a S.I na mesma dose.

O acúmulo de Ca nos colmos da cana-soca, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 31). Houve ajuste a funções quadráticas para Pseud até a dose de 123 kg ha⁻¹ P_2O_5 , Azo+Bac até a dose de 82 kg ha⁻¹ P_2O_5 e Bac+Pseud até a dose de 125 kg ha⁻¹ P_2O_5 , enquanto que S.I. se ajustou a uma função linear crescente (Tabela 35).

Tabela 34 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de K no colmo da cana-soca.

Acúmulo K colmo (kg ha ⁻¹) Cana-soca					
Inoculação	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	165,73 a	287,49 b	321,57 b	358,20 b	369,53 a
Azo	390,73 a	343,32 b	370,64 b	300,01 b	313,00 a
Bac	325,12 a	266,13 b	328,23 b	294,07 b	476,98 a
Pseud	325,70 a	269,86 b	594,97 a	601,15 a	480,80 a
Azo + Bac	306,26 a	591,50 a	378,97 b	413,31 b	337,64 a
Azo + Pseud	337,40 a	269,09 b	354,75 b	478,59 a	445,99 a
Bac + Pseud	276,45 a	374,83 b	335,76 b	509,98 a	400,04 a
Azo + Bac + Pseud	441,13 a	357,82 b	269,34 b	298,11 b	335,32 a
Erro padrão	61,68				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 . † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 1,0629x + 204,8400$ ($R^2 = 0,85$)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 344$ ^{ns}

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 338$ ^{ns}

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 454$ ^{ns}

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 406$ ^{ns}

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 0,9482x + 291,8240$ ($R^2 = 0,63$)

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0072x^2 + 2,1408x + 273,8906$ ($R^2 = 0,59$ e PM = 149 kg ha⁻¹)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 340$ ^{ns}

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 35 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de Ca no colmo da cana-soca.

Acúmulo Ca colmo (kg ha ⁻¹) Cana-soca					
Inoculação	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	28,92 b	39,88 b	48,68 b	57,41 b	62,38 a
Azo	66,81 a	60,50 b	46,13 b	46,36 b	50,43 a
Bac	59,64 a	46,53 b	63,31 a	45,11 b	63,32 a
Pseud	47,09 b	51,13 b	84,68 a	92,17 a	67,58 a
Azo + Bac	53,98 a	93,53 a	74,42 a	63,78 b	57,48 a
Azo + Pseud	64,26 a	34,93 b	59,96 b	67,34 b	60,74 a
Bac + Pseud	46,66 b	56,05 b	66,59 a	109,36 a	62,57 a
Azo + Bac + Pseud	66,65 a	49,69 b	49,78 b	54,15 b	53,63 a
Erro padrão	8,25				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 . † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 0,1877x + 30,5630$ ($R^2 = 0,98$)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 54$ ^{ns}

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 56$ ^{ns}

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0029x^2 + 0,7114x + 40,2170$ ($R^2 = 0,74$ e PM = 123 kg ha⁻¹)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = -0,0029x^2 + 0,4778x + 61,2987$ ($R^2 = 0,54$ e PM = 82 kg ha⁻¹)

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 57$ ^{ns}

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0028x^2 + 0,6980x + 39,7671$ ($R^2 = 0,51$ e PM = 125 kg ha⁻¹)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 55$ ^{ns}

Fonte: Elaboração da própria autora.

Abordando ainda sobre o acúmulo de Ca nos colmos da cana-soca, observa-se que, na maior dose de fósforo testada a inoculações não tiveram nenhum efeito, enquanto que nas demais doses, praticamente todas as bactérias isoladas ou combinadas provocaram alguma interferência (benéfica ou não) (Tabela 35). Os maiores benefícios para essa variável foram encontrados nas doses 0 e 90 kg ha⁻¹ P₂O₅, nas quais a maior parte das inoculações com as BPCPs utilizadas neste estudo, promoveu incrementos. A inoculação com Azo+Bac promoveu maiores valores em maior número de doses, e Bac+Pseud associada a dose de 135 kg ha⁻¹ P₂O₅ foi a que apresentou o maior acúmulo de Ca de todos os tratamentos (incremento de 90% em relação a S.I.).

A respeito do acúmulo de Mg nos colmos da cana-soca, este foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P₂O₅ e inoculações (Tabela 31). Ocorreram ajustes quadráticos para Pseud até a dose de 128 kg ha⁻¹ P₂O₅ e Azo+Bac até a dose de 79 kg ha⁻¹ P₂O₅, além disso, S.I. se ajustou a uma função linear crescente e Azo uma função linear decrescente (Tabela 36). Novamente as inoculações não surtiram efeito para a maior dose de fósforo aplicada. Na dose 0, um maior número de inoculações, principalmente as combinações duplas e tripla de bactérias aumentaram o acúmulo de Mg nos colmos. A inoculação de Azo+Bac promoveu aumento desta variável em um maior número de doses e, Bac+Pseud na dose de 135 kg ha⁻¹ P₂O₅ demonstrou o maior acúmulo de todos os tratamentos (comportamentos que haviam ocorrido para o acúmulo de Ca nos colmos da cana-soca). O incremento neste tratamento, em relação a S.I. na mesma dose foi de 62%.

O acúmulo de S nos colmos da cana-planta, também foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P₂O₅ e inoculações (Tabela 31). Houveram ajustes a funções quadráticas, sendo eles, para S.I. até a dose de 89 kg ha⁻¹ P₂O₅, para Azo até a dose de 99 kg ha⁻¹ P₂O₅, para Pseud até a dose de 109 kg ha⁻¹ P₂O₅, para Azo+Bac até a dose de 64 kg ha⁻¹ P₂O₅ e para Azo+Pseud até a dose de 116 kg ha⁻¹ P₂O₅ (Tabela 37). As inoculações com Bac e com Bac+Pseud se ajustaram a funções lineares decrescentes. As inoculações afetaram todas as doses de P aplicadas, de maneira que, com 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ um maior número de inoculações aumentou o acúmulo de S nos colmos da cana-planta. A inoculação com Pseud e com Azo+Pseud, proporcionou aumento desta variável em um maior número de doses. Os maiores valores foram observados para a inoculação com Bac na dose 0 e para Azo+Pseud na dose 135 kg ha⁻¹ P₂O₅, promovendo incrementos de 258 e 131%,

respectivamente, quando comparados aos valores da testemunha S.I. nas mesmas doses.

Tabela 36 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de Mg no colmo da cana-soca.

Inoculação	Acúmulo Mg colmo (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	27,13 b	39,09 b	48,68 b	50,58 b	55,50 a
Azo	59,40 a	49,94 b	41,11 b	38,12 b	40,91 a
Bac	41,76 b	42,82 b	48,85 b	42,53 b	58,39 a
Pseud	34,36 b	44,69 b	74,24 a	77,35 a	62,11 a
Azo + Bac	52,43 a	75,72 a	70,03 a	54,94 b	51,88 a
Azo + Pseud	54,82 a	34,80 b	54,65 b	55,26 b	53,89 a
Bac + Pseud	46,13 a	47,34 b	51,59 b	81,88 a	59,82 a
Azo + Bac + Pseud	57,00 a	46,96 b	41,17 b	44,27 b	46,30 a
Erro padrão	6,81				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 . † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 0,1516x + 30,5470$ ($R^2 = 0,92^{**}$)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = -0,1084x + 55,6510$ ($R^2 = 0,78^*$)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 47^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0027x^2 + 0,6885x + 29,8294$ ($R^2 = 0,87^{**}$ e PM = 128 kg ha⁻¹)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = -0,0022x^2 + 0,3456x + 56,5040$ ($R^2 = 0,66^*$ e PM = 79 kg ha⁻¹)

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 51^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 57^{ns}$

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 47^{ns}$

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 37 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo de S no colmo da cana-planta.

Inoculação	Acúmulo S colmo (kg ha ⁻¹) Cana-planta				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	29,23 e	60,20 c	58,63 d	39,18 e	39,95 d
Azo	46,21 d	53,16 d	68,60 c	63,26 c	51,46 c
Bac	104,77 a	74,58 a	66,39 c	61,00 c	48,26 c
Pseud	61,69 b	74,75 a	87,41 a	80,82 b	75,01 a
Azo + Bac	55,86 c	78,39 a	63,89 c	53,03 d	45,64 c
Azo + Pseud	55,48 c	76,23 a	77,97 b	90,51 a	75,16 a
Bac + Pseud	68,99 b	67,07 b	62,06 c	63,98 c	59,91 b
Azo + Bac + Pseud	61,98 b	46,66 d	52,42 d	68,29 c	62,19 b
Erro padrão	2,74				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 .

S.I. (sem inoculação): $y = -0,0028x^2 + 0,4979x + 34,1711$ ($R^2 = 0,60^{**}$ e PM = 89 kg ha⁻¹)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = -0,0021x^2 + 0,4157x + 44,0917$ ($R^2 = 0,85^{**}$ e PM = 99 kg ha⁻¹)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = -0,2813x + 96,3150$ ($R^2 = 0,89^{**}$)

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0020x^2 + 0,4345x + 61,2529$ ($R^2 = 0,94^{**}$ e PM = 109 kg ha⁻¹)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = -0,0020x^2 + 0,2552x + 60,4873$ ($R^2 = 0,70^{**}$ e PM = 64 kg ha⁻¹)

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = -0,0022x^2 + 0,5091x + 55,5644$ ($R^2 = 0,88^{**}$ e PM = 116 kg ha⁻¹)

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = -0,0472x + 68,6460$ ($R^2 = 0,84^*$)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 58^{ns}$

Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos (exportação) da cana-planta inoculada com BPCPs e adubada com fósforo foi de cerca de 162, 19, 736, 26, 45 e 63 kg ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 60, 55, 74, 36, 64 e 76% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (colmo + ponteiro + folhas) (Tabela 31). Assim sendo, o acúmulo de macronutrientes nos colmos da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > S > Mg > Ca > P.

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos (exportação) foi de cerca de 134, 9, 367, 59, 51 e 24 kg ha⁻¹ correspondendo, respectivamente a 58, 52, 77, 61, 71 e 66% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (colmo + ponteiro + folhas) (Tabela 31). Dessa forma, o acúmulo de macronutrientes nos colmos da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior, apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > Ca > Mg > S > P (mesma sequência de acúmulo de macronutrientes que ocorreu para a palhada).

Com relação ao acúmulo de micronutrientes nos colmos da cana-de-açúcar, B, Cu, Mn e Zn na cana-soca, foram influenciados apenas pelo efeito isolado das inoculações (Tabela 38). O acúmulo de B nos colmos da cana-soca foi maior nas inoculações individuais do que combinadas, entretanto, não diferindo da testemunha S.I. O acúmulo de Cu nos colmos, foi maior na testemunha S.I. e na inoculação com Azo+Bac, de forma que os demais tratamentos não diferiram entre si. O acúmulo de Zn foi maior quando se inoculou com Pseud e Azo+Bac (incrementos de 50 e 64%, respectivamente, em relação a S.I.), diferindo dos demais tratamentos que, por sua vez, não diferiram entre si. Essas duas inoculações, aumentaram também, juntamente as inoculações com Azo e Bac+Pseud, o acúmulo de Mn, com destaque de maior incremento em relação a S.I. para Pseud (31%).

Tabela 38 - Acúmulo de micronutrientes no colmo da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

	B colmo		Cu colmo		Fe colmo		Mn colmo		Zn colmo	
Doses de P ₂ O ₅	(g ha ⁻¹)									
(kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	961,95	283,48	673,16	150,63	9189,94	1506,65	5756,42	812,62	894,63	544,23
45	1013,98	214,33	656,85	119,22	10016,79	1376,02	6207,52	776,09	938,43	451,80
90	1064,45	228,57	634,72	152,96	11900,28	1718,53	6348,94	864,25	974,71	578,84
135	996,05	299,49	618,76	150,67	12047,19	1586,22	5852,91	833,69	890,22	543,65
180	870,69	283,21	588,55	125,42	8535,48	1585,82	4900,96	755,93	756,21	548,31
Inoculação										
S.I.	765,52 d	282,33 a	430,96 f	177,73 a	9637,42 d	1643,99 a	5095,85 e	749,46 b	658,33 f	446,19 b
Azo	951,26 c	294,22 a	533,03 e	119,42 b	10534,87 c	1342,89 a	5372,31 d	868,36 a	878,56 d	491,87 b
Bac	984,93 c	338,12 a	573,25 d	111,32 b	7236,49 f	1433,26 a	5169,96 e	684,98 b	862,93 d	453,92 b
Pseud	1123,02 a	377,59 a	551,33 e	139,18 b	8894,18 e	1814,22 a	6302,48 b	979,76 a	904,03 c	671,01 a
Azo + Bac	1016,90 c	172,14 b	653,83 c	192,23 a	12666,25 a	1621,92 a	6161,13 b	975,63 a	992,86 b	733,60 a
Azo + Pseud	1138,65 a	255,14 b	816,85 a	140,18 b	10932,02 c	1288,45 a	6205,47 b	702,37 b	1107,15 a	556,01 b
Bac + Pseud	1069,30 b	172,51 b	824,70 a	136,59 b	11034,43 c	1779,49 a	6474,15 a	830,29 a	934,18 c	486,95 b
Azo + Bac + Pseud	801,81 d	202,46 b	691,32 b	101,59 b	11767,82 b	1512,96 a	5725,46 c	677,29 b	788,71 e	427,36 b
Erro Padrão	17,10	34,38	7,51	20,74	194,91	152,77	69,49	75,77	12,93	80,06
Teste F										
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns
Inoculação (I)	**	**	**	*	**	ns	**	*	**	*
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	5,51	20,26 [#]	3,74	23,28 [#]	5,96	16,02 [#]	3,78	29,63	4,59	25,64 [#]
Média geral	981,42	261,81	634,41	139,78	10337,94	1554,65	5813,35	808,52	890,84	533,37

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn nos colmos da cana-planta, foram influenciados tanto pelo efeito das inoculações quanto das doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 38). Sobre o efeito isolado de doses, ocorreram ajustes quadráticos para B até a dose de $77 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$, para Fe até a dose de $92 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ (Figura 14A e C), para Mn até a dose de $71 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ e para Zn até a dose de $69 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$ (Figura 15). Posto que, para Cu (Figura 14B) o ajuste foi linear decrescente, de forma que, a medida que se aumentava a aplicação de fósforo, o acúmulo desse nutriente nos colmos da cana-planta diminuía.

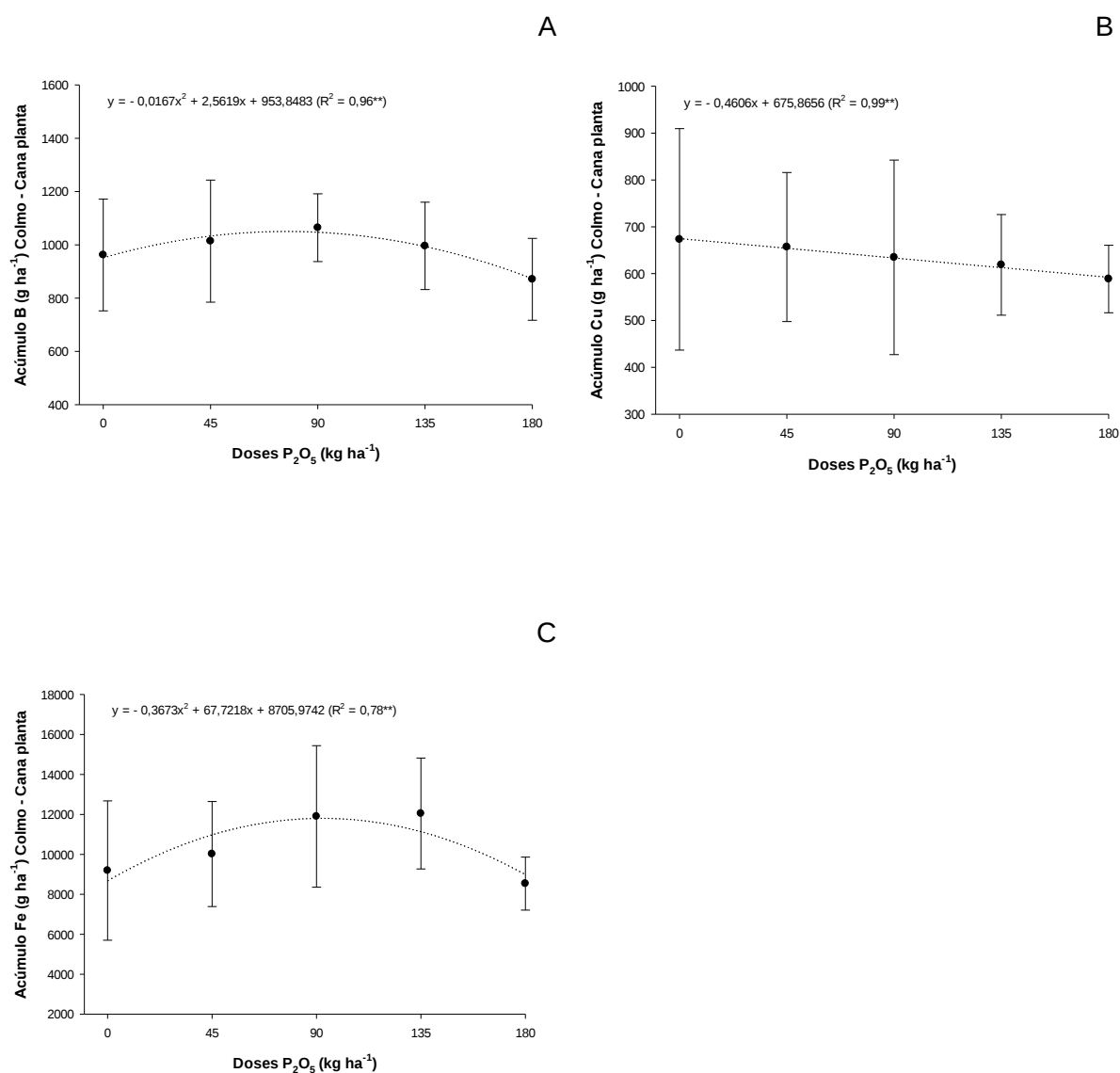
O Zn acumulado nos colmos da cana-planta, foi maior com a inoculação de Azo+Pseud, apresentando incremento de 68% quando comparado a S.I., e diferindo das demais inoculações que também diferiram entre si (Tabela 38). O Mn foi maior para a inoculação com Bac+Pseud, diferindo das demais inoculações, com incremento de 27% em relação a S.I. Essas duas inoculações mencionadas anteriormente, foram responsáveis por promover os maiores acúmulos de Cu nos colmos da cana-planta, com incrementos de 90 e 91%, respectivamente, quando comparadas a testemunha S.I. O acúmulo de Fe foi superior na inoculação com Azo+Bac, diferindo das demais, com incremento de 31% em relação a S.I. O B acumulado nos colmos foi maior quando se inoculou com Pseud e Azo+Pseud, apresentando incrementos de 47 e 49% quando comparadas a testemunha S.I.

O acúmulo médio dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn nos colmos (exportação) da cana-planta inoculada com BPCPs e adubada com fósforo, foi de cerca de 981, 634, 10338, 5813 e 891 g ha^{-1} correspondendo, respectivamente a 78, 84, 62, 78 e 76% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (colmo + ponteiro + folhas) (Tabela 38). Logo, o acúmulo de micronutrientes nos colmos da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente $Fe > Mn > B > Zn > Cu$.

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo médio dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn nos colmos (exportação) foi de cerca de 262, 140, 1555, 809 e 533 g ha^{-1} correspondendo, respectivamente a 64, 86, 51, 57 e 78% de todo o nutriente acumulado na parte aérea da planta (colmo + ponteiro + folhas) (Tabela 38). Deste modo, o acúmulo de micronutrientes nos colmos da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior,

apresentou a seguinte ordem decrescente $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$ (mesma sequência de acúmulo de micronutrientes que ocorreu para a palhada).

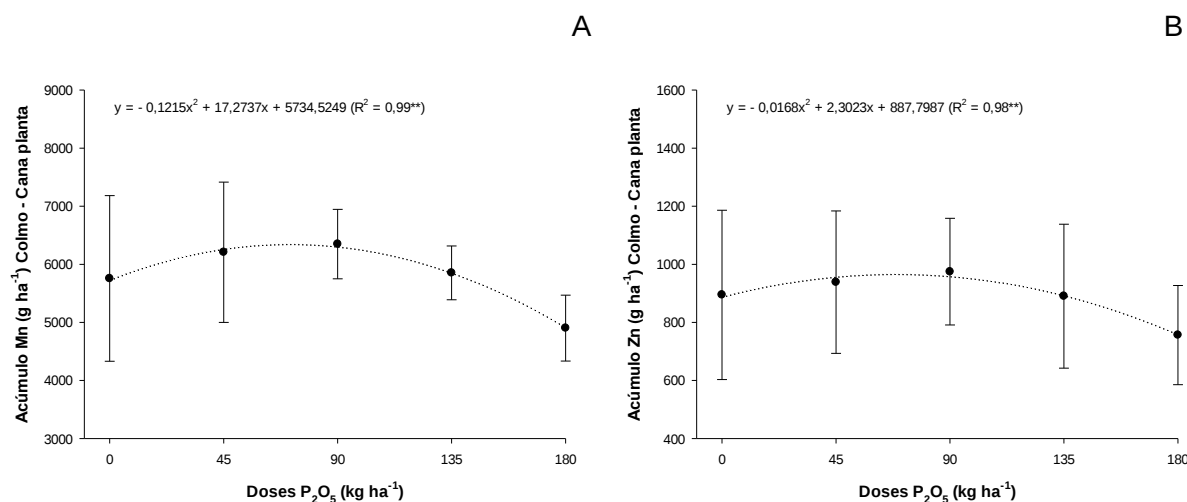
Figura 14 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 15 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo no colmo, de Mn (A) e Zn (B), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

5.9.3 Acúmulo de nutrientes total na parte aérea (colmo + palhada)

A respeito do acúmulo total (colmo + palhada) de macronutrientes na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, somente N e Mg em cana-soca que foram influenciados apenas pelo efeito isolado das inoculações com BPCPs (Tabela 39). O acúmulo total de N foi maior nas inoculações com Pseud, Azo+Bac e Bac+Pseud, diferindo das demais inoculações que foram todas estatisticamente semelhantes entre si. Essas três inoculações, juntamente com Azo+Pseud, foram responsáveis por aumentar também o acúmulo total de Mg na cana-soca. O maior valor de incremento em relação a S.I., para cada uma dessas duas variáveis, ocorreu com a inoculação de Azo+Bac e foi, respectivamente, de 26 e 23%.

O acúmulo total de N, K, Ca, Mg e S em cana-planta, foram influenciados tanto pelas inoculações quanto pelas doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 39). Para o efeito isolado de doses de P_2O_5 , houve ajuste quadrático para o acúmulo total de N até a dose de 93 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , para K até a dose de 111 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Figura 16A e B), para Mg e S até a dose de 74 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Figura 17). O acúmulo total de Ca se ajustou a uma função linear decrescente (Figura 16C).

Tabela 39 - Acúmulo total (colmo + palhada) de macronutrientes na cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

	N total		P total		K total		Ca total		Mg total		S total	
	(kg ha ⁻¹)											
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	252,07	216,65	29,92	15,04	909,22	439,43	74,89	95,17	70,45	69,20	81,26	35,25
45	278,88	223,59	32,96	15,68	998,57	460,79	73,93	92,30	71,10	69,60	86,72	35,53
90	283,57	236,16	40,02	18,57	1010,87	470,32	73,35	96,64	79,69	73,35	86,08	37,26
135	275,79	246,80	35,49	20,59	1060,96	516,28	67,54	104,26	70,94	76,68	83,80	39,07
180	257,11	229,59	35,29	20,23	978,26	503,99	68,23	96,45	62,12	75,25	76,14	37,70
Inoculação												
S.I.	239,91 e	214,37 b	28,46	17,00	828,43 c	420,96	45,50 f	83,42	56,47 e	66,05 b	61,38 d	33,93
Azo	236,96 e	211,75 b	26,08	16,91	855,48 c	448,50	65,52 d	88,86	60,35 d	66,76 b	73,33 c	35,14
Bac	254,18 d	222,19 b	35,19	18,27	1047,57 b	452,50	64,77 d	94,22	75,06 b	67,85 b	90,90 b	38,98
Pseud	273,80 c	246,68 a	40,90	21,47	1011,92 b	561,25	73,99 c	104,01	72,36 c	77,33 a	96,80 a	42,10
Azo + Bac	263,85 c	269,89 a	40,09	19,44	980,36 b	522,39	60,59 e	105,22	72,07 c	81,34 a	77,86 c	39,19
Azo + Pseud	323,58 a	223,70 b	36,76	17,41	1022,33 b	494,61	81,02 b	101,98	77,00 b	76,63 a	96,78 a	35,45
Bac + Pseud	311,65 b	241,57 a	39,66	17,37	1365,33 a	474,95	122,52 a	106,66	100,76 a	78,40 a	89,11 b	37,53
Azo + Bac + Pseud	251,96 d	214,30 b	30,75	16,32	821,19 c	450,15	58,79 e	91,34	52,81 e	68,19 b	76,26 c	33,37
Erro Padrão	3,44	13,58	0,79	1,23	15,84	31,98	1,59	5,25	1,39	3,68	1,31	2,14
Teste F												
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	ns	**	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns
Inoculação (I)	**	*	**	ns	**	ns	**	*	**	*	**	ns
D x I	ns	ns	**	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	**
C.V. (5%)	4,03	18,62	7,22	21,51	5,05	21,15	7,03	17,12	6,22	15,99	5,01	18,27
Média geral	269,48	230,56	34,74	18,02	991,58	478,16	71,59	96,96	70,86	72,82	82,80	36,96

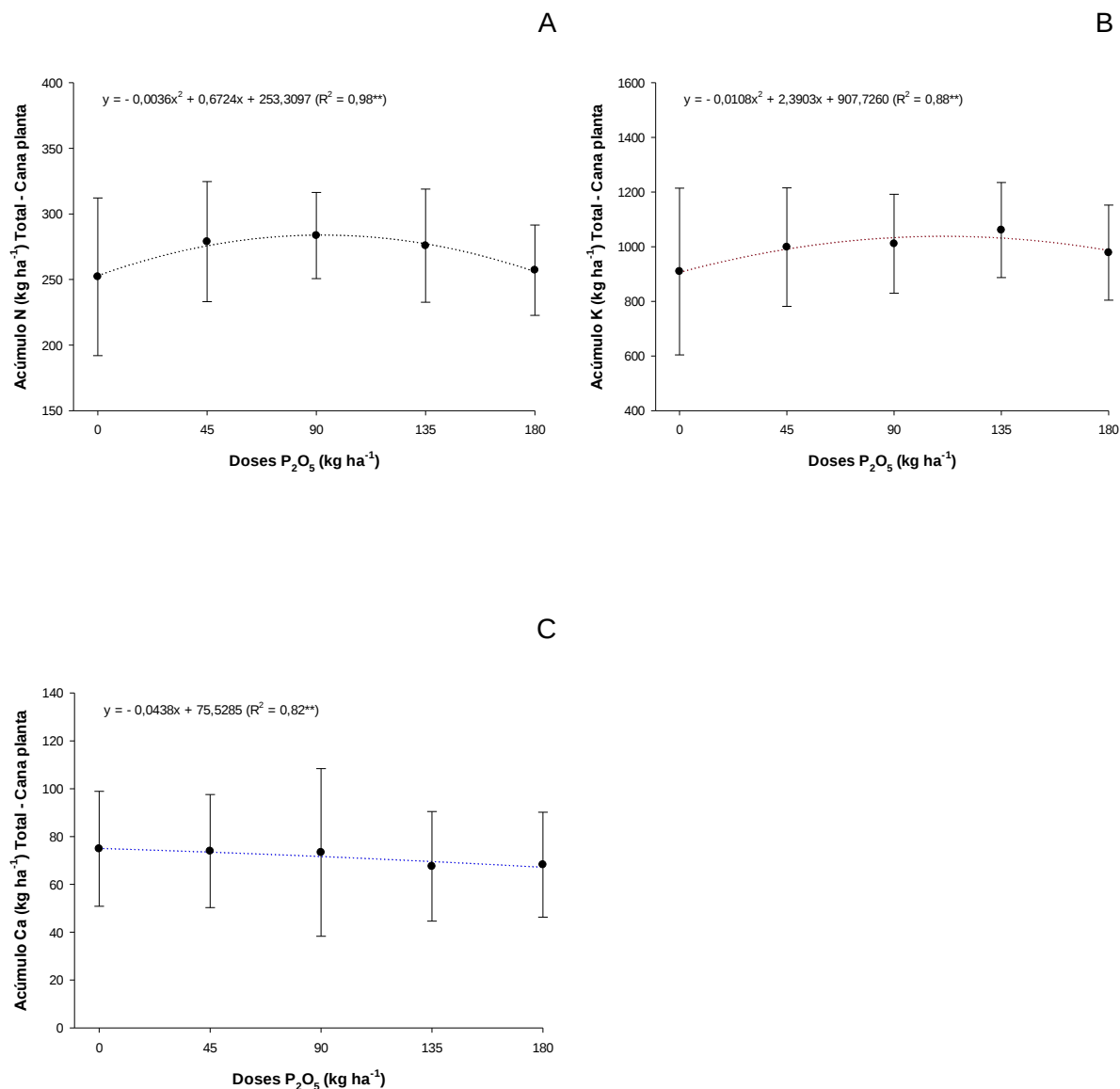
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

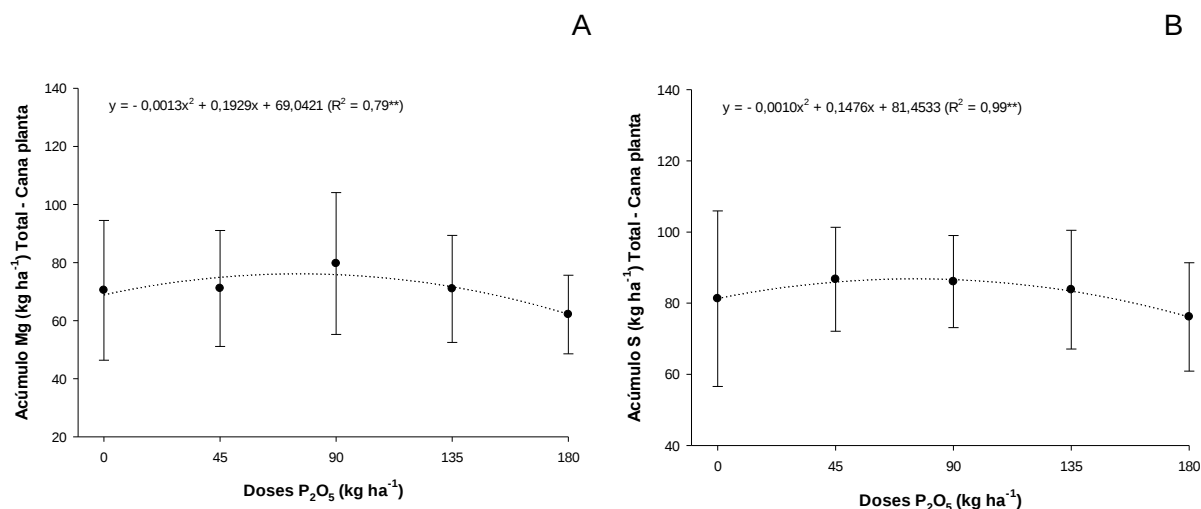
Figura 16 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de N (A), K (B) e Ca (C) em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 17 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada) de Mg (A) e S (B), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

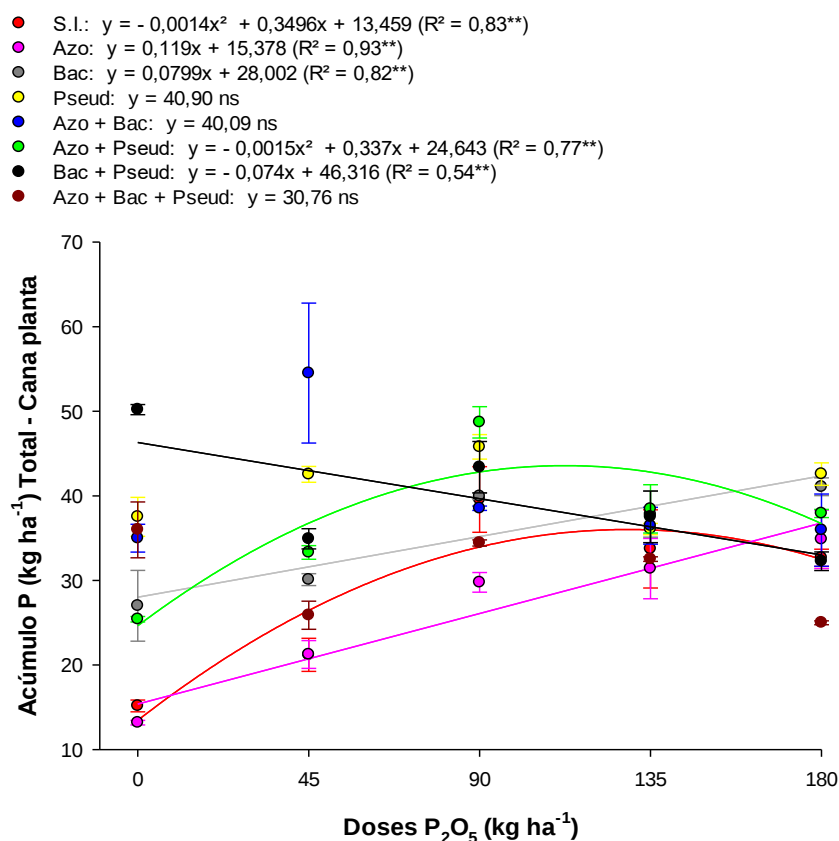
O total acumulado de K, Ca e Mg, em cana-planta, foi maior com a inoculação de Bac+Pseud, diferindo de todos os demais tratamentos (Tabela 39). Os incrementos com essa inoculação, quando comparada a S.I. foi de 65% para o acúmulo total de K, 169% para o acúmulo total de Ca e 78% para o acúmulo total de Mg, na cana-planta. Para K e Mg a inoculação tripla (Azo+Bac+Pseud) não diferiu da testemunha sem inoculação, demonstrando que essa combinação de bactérias não teve efeito benéfico para tais variáveis.

O total acumulado de N, na cana-planta, se destacou com a inoculação de Azo+Pseud, diferindo de todos os demais tratamentos e, apresentando incremento de 35% em relação a S.I. (Tabela 39). Essa mesma inoculação mencionada anteriormente, juntamente com Pseud, elevaram o acúmulo total de S, na cana-planta, ambas incrementando em 58% essa variável.

O acúmulo total de P, em ambos os ciclos de cultivo (cana-planta e 1ª cana-soca) foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações com BPCPs (Tabela 39). Na cana-planta, para esta variável, as inoculações Azo e Bac se ajustaram a funções lineares crescentes e a inoculação Bac+Pseud se ajustou a uma função linear decrescente, enquanto que, Azo+Pseud e

a testemunha S.I se ajustaram a funções quadráticas até as doses de 112 e 125 kg ha⁻¹ P₂O₅, respectivamente (Figura 18). Todas as doses testadas foram influenciadas estatisticamente pelas inoculações (Tabela 40). A dose de 135 kg ha⁻¹ P₂O₅ aumentou o acúmulo total de P em um maior número de inoculações, e as inoculações com Pseud e Bac+Pseud promoveram aumentos para um maior número de doses. Na dose de 135 kg ha⁻¹ P₂O₅, todas as inoculações influenciaram positivamente o acúmulo total de P em relação à testemunha S.I., exceto a inoculação com Azo e com Azo+Bac+Pseud, que apresentaram valores estatisticamente iguais à testemunha. O maior acúmulo total de P foi registrado com a inoculação de Azo+Bac associada à dose de 45 kg ha⁻¹ P₂O₅, com incremento de 157% em relação a testemunha.

Figura 18 - Desdobramento da interação de doses de P₂O₅ dentro de inoculações, para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-planta.



^{**}, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).
 Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 40 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-planta.

Inoculação	Acúmulo P total (kg ha ⁻¹) Cana-planta				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	15,15 d	21,19 d	39,57 b	33,72 b	32,67 c
Azo	13,17 d	21,24 d	29,76 c	31,39 b	34,86 b
Bac	26,99 c	30,08 c	39,96 b	37,84 a	41,08 a
Pseud	37,52 b	42,55 b	45,80 a	36,06 a	42,59 a
Azo + Bac	34,99 b	54,52 a	38,54 b	36,46 a	35,95 b
Azo + Pseud	25,40 c	33,30 c	48,70 a	38,46 a	37,93 b
Bac + Pseud	50,21 a	34,91 c	43,39 a	37,52 a	32,26 c
Azo + Bac + Pseud	35,98 b	25,87 d	34,42 c	32,52 b	24,99 d
Erro padrão			1,77		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

Na cana-soca, o acúmulo total de P só foi influenciado pelas inoculações nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 41). Na dose de 90 kg ha⁻¹ P_2O_5 , as inoculações que aumentaram essa variável não diferiram da testemunha S.I., contudo, na dose de 135 kg inoculando-se com Pseud e Bac+Pseud elevou-se o acúmulo total de P em relação aos demais tratamentos, com incrementos de 42 e 34%, respectivamente. Ocorreu ajuste a funções lineares crescentes para Bac e para Pseud, e ajuste a uma função quadrática até a dose de 107 kg ha⁻¹ de P_2O_5 para S.I. (Figura 19).

O acúmulo total de K, na cana-soca, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 39). Houve ajuste somente a funções lineares crescentes, para S.I, Pseud e Bac+Pseud (Tabela 42). As inoculações só interferiram nas doses de 45 e 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , de modo que, Pseud, Azo+Pseud e Bac+Pseud aumentaram o acúmulo total de K quando associadas a dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e Azo+Bac quando associada a dose de 45 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , que por sua vez foi o tratamento que proporcionou o maior incremento (67%) em relação a S.I.

Tabela 41 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-soca.

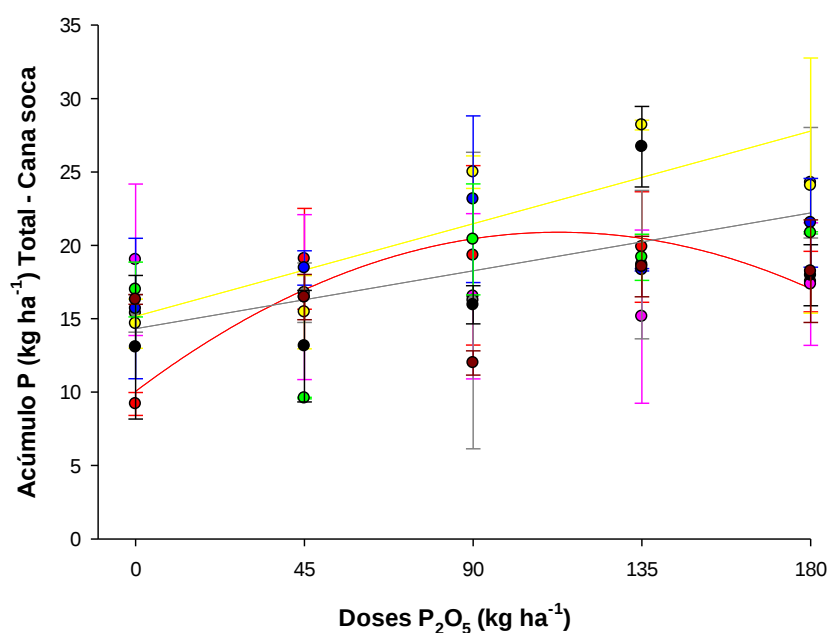
Inoculação	Acúmulo P total (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	9,19 a	19,08 a	19,32 a	19,89 b	17,53 a
Azo	19,02 a	16,47 a	16,54 b	15,15 b	17,37 a
Bac	15,36 a	16,78 a	16,24 b	18,69 b	24,27 a
Pseud	14,67 a	15,45 a	24,99 a	28,19 a	24,07 a
Azo + Bac	15,70 a	18,46 a	23,15 a	18,34 b	21,54 a
Azo + Pseud	17,00 a	9,60 a	20,41 a	19,19 b	20,86 a
Bac + Pseud	13,06 a	13,13 a	15,95 b	26,72 a	17,97 a
Azo + Bac + Pseud	16,32 a	16,48 a	11,99 b	18,56 b	18,24 a
Erro padrão			2,74		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 19 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para acúmulo total de P (colmo + palhada), na cana-soca.

- S.I.: $y = -0,0009x^2 + 0,1923x + 10,0516$ ($R^2 = 0,91^*$)
- Azo: $y = 16,91$ ns
- Bac: $y = 0,0438x + 14,3200$ ($R^2 = 0,76^*$)
- Pseud: $y = 0,0701x + 15,1640$ ($R^2 = 0,68^{**}$)
- Azo + Bac: $y = 19,44$ ns
- Azo + Pseud: $y = 17,41$ ns
- Bac + Pseud: $y = 17,37$ ns
- Azo + Bac + Pseud: $y = 16,32$ ns



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 42 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para acúmulo total de K (colmo + palhada), na cana-soca.

Inoculação	Acúmulo K total (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	274,63 a	435,21 b	440,61 a	472,63 b	481,75 a
Azo	530,18 a	486,34 b	478,97 a	367,39 b	379,62 a
Bac	475,07 a	398,03 b	417,76 a	389,82 b	581,84 a
Pseud	412,88 a	369,37 b	687,72 a	713,85 a	622,43 a
Azo + Bac	402,96 a	726,02 a	507,58 a	515,29 b	460,09 a
Azo + Pseud	477,65 a	354,38 b	442,34 a	624,47 a	574,21 a
Bac + Pseud	357,27 a	445,36 b	420,53 a	634,65 a	516,93 a
Azo + Bac + Pseud	584,81 a	471,65 b	367,07 a	412,18 b	415,04 a
Erro padrão			71,52		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P_2O_5 . † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 1,0037x + 330,6310$ ($R^2 = 0,72^*$)

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = 449^{ns}$

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 453^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = 1,6968x + 408,5320$ ($R^2 = 0,57^{**}$)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 522^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 495^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 1,1302x + 373,2240$ ($R^2 = 0,58^*$)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 450^{ns}$

Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo total de Ca, na cana-soca, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 39). Ocorreu ajuste a uma função linear decrescente para Azo e a função quadrática para Pseud até a dose de 117 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 43). Somente nas doses 0, 45 e 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , as inoculações tiveram efeito. Na dose 0, todas as inoculações, exceto Pseud, Azo+Bac e Bac+Pseud, aumentaram o acúmulo total de Ca em relação a testemunha. Na dose de 45 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , apenas Azo+Bac aumentou o valor dessa variável, e na dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , Pseud e Bac+Pseud também aumentaram o acúmulo total de Ca, diferindo dos demais tratamentos (incrementos de 47 e 83%, respectivamente).

O acúmulo total de S, na cana-soca, foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 39). Houve ajuste a função linear decrescente para Azo e crescente para Bac+Pseud, enquanto que, a inoculação com Pseud se ajustou a uma função quadrática até a dose de 133 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (Tabela 44). Novamente (assim como para Ca), o acúmulo total de S, não influenciou nas doses de 90 e 180 kg ha⁻¹ de P_2O_5 . Essa variável apresentou o mesmo comportamento que a anterior (Ca), e os incrementos em relação a testemunha foram

de 62% para inoculação com Pseud e 67% para a inoculação com Bac+Pseud, ambas na dose 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Tabela 43 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P₂O₅, para acúmulo total de Ca (colmo + palhada), na cana-soca.

Inoculação	Acúmulo Ca total (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	67,31 b	80,57 b	85,38 a	90,76 b	93,09 a
Azo	115,05 a	98,32 b	73,83 a	77,76 b	79,33 a
Bac	111,72 a	91,55 b	100,23 a	71,54 b	96,07 a
Pseud	76,32 b	86,45 b	122,40 a	133,68 a	101,19 a
Azo + Bac	89,98 b	137,19 a	106,52 a	94,19 b	98,22 a
Azo + Pseud	119,88 a	65,84 b	107,07 a	103,14 b	114,00 a
Bac + Pseud	74,56 b	87,19 b	88,23 a	166,30 a	117,03 a
Azo + Bac + Pseud	106,59 a	91,31 b	89,45 a	96,70 b	72,66 a
Erro padrão			11,74		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P₂O₅. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 83^{ns}$

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = -0,2045x + 107,2570$ ($R^2 = 0,70^*$)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 94^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0039x^2 + 0,9135x + 68,9077$ ($R^2 = 0,78^*$ e PM = 117 kg ha⁻¹)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 105^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 102^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 107^{ns}$

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 91^{ns}$

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 44 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P₂O₅, para acúmulo total de S (colmo + palhada), na cana-soca.

Inoculação	Acúmulo S total (kg ha ⁻¹) Cana-soca				
	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	26,10 b	41,58 b	35,73 a	32,73 b	33,51 a
Azo	44,08 a	36,65 b	33,10 a	28,55 b	33,31 a
Bac	39,81 a	39,99 b	36,74 a	32,48 b	45,89 a
Pseud	29,64 b	32,57 c	50,06 a	53,13 a	45,12 a
Azo + Bac	32,92 b	54,06 a	37,40 a	37,29 b	34,29 a
Azo + Pseud	38,72 a	20,52 c	41,45 a	40,76 b	35,81 a
Bac + Pseud	29,43 b	26,94 c	33,13 a	54,62 a	43,53 a
Azo + Bac + Pseud	41,32 a	31,92 c	30,48 a	32,99 b	30,16 a
Erro padrão			4,78		

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. PM = ponto de máxima resposta às doses crescentes de P₂O₅. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

S.I. (sem inoculação): $y = 34^{ns}$

Azo (*Azospirillum brasilense*): $y = -0,0659x + 41,0640$ ($R^2 = 0,66^*$)

Bac (*Bacillus subtilis*): $y = 39^{ns}$

Pseud (*Pseudomonas fluorescens*): $y = -0,0013x^2 + 0,3449x + 26,6130$ ($R^2 = 0,82^*$ e PM = 133 kg ha⁻¹)

Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*): $y = 39^{ns}$

Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*): $y = 35^{ns}$

Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 0,1242x + 26,3510$ ($R^2 = 0,59^{**}$)

Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*): $y = 33^{ns}$

Fonte: Elaboração da própria autora.

O acúmulo total (colmo + palhada) médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da cana-planta, inoculada com BPCPs e adubada com fósforo, foi de 269,48; 34,74; 991,58; 71,59; 70,86 e 82,80 kg ha⁻¹ (Tabela 39). Sendo assim, o acúmulo total de macronutrientes na parte aérea da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > S > Ca > Mg > P, diferindo da ordem de acúmulo de macronutrientes nos colmos só com relação a maior absorção de Mg ao invés de Ca.

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo total (colmo + palhada) médio dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, na parte aérea, foi de 230,56; 18,02; 478,16; 96,96; 72,82 e 36,96 kg ha⁻¹ (Tabela 39). Portanto, o acúmulo total de macronutrientes na parte aérea da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior, apresentou a seguinte ordem decrescente K > N > Ca > Mg > S > P (mesma sequência de acúmulo de macronutrientes que ocorreu para os colmos da 1ª cana-soca).

Com relação ao acúmulo total (colmo + palhada) de micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, somente B e Zn na cana-soca, que foram influenciados apenas pelo efeito isolado das inoculações (Tabela 45). Para este último, as inoculações com Pseud, Azo+Bac e Azo+Pseud que se destacaram e, para o acúmulo total de B, todas as inoculações tiveram acúmulos iguais ou até menores que a testemunha S.I.

O acúmulo total de B, Cu, Fe, Mn e Zn, na cana-planta, foram influenciados tanto pelas inoculações quanto pelas doses de P₂O₅ aplicadas (Tabela 45). Para o efeito isolado de doses de P₂O₅, houveram ajustes, quadráticos para o acúmulo total de B até a dose de 68 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para Ferro até a dose de 72 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 20A e C), para Mn até a dose de 73 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para o Zn até a dose de 69 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 21) e ajuste linear decrescente para acúmulo total de Cu (figura 20B).

Tabela 45 - Acúmulo total (colmo + palhada) de micronutrientes na cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	B total		Cu total		Fe total (g ha ⁻¹)		Mn total		Zn total	
	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	1257,29	435,09	771,85	167,70	16547,32	3046,64	7249,00	1528,92	1177,31	700,34
45	1297,75	362,73	766,67	142,37	17303,76	2936,35	8012,58	1462,54	1207,33	591,91
90	1341,26	382,73	758,03	184,83	17993,77	3232,50	7944,73	1411,20	1235,97	724,31
135	1244,66	442,03	744,32	167,33	17094,79	3083,23	7392,28	1385,72	1174,99	694,00
180	1126,81	421,31	720,08	147,78	14087,25	3018,23	6524,86	1353,25	1079,22	705,18
Inoculação										
S.I.	1003,26 e	444,42 a	484,39 f	204,92 a	14446,17 f	3264,58 a	6345,20 e	1454,40 a	878,52 e	570,98 b
Azo	1193,79 c	451,44 a	630,37 e	143,96 a	15191,30 e	2756,27 a	6779,39 d	1571,31 a	1111,06 d	635,99 b
Bac	1244,06 c	504,66 a	709,71 c	127,88 a	13167,55 g	3117,79 a	6706,66 d	1300,96 a	1156,82 c	609,26 b
Pseud	1376,79 b	494,35 a	677,49 d	155,94 a	16543,32 d	3281,24 a	8343,63 a	1601,60 a	1179,76 c	819,23 a
Azo + Bac	1252,36 c	312,10 b	771,38 b	207,11 a	20589,12 a	3024,80 a	7605,82 b	1541,88 a	1237,63 b	903,79 a
Azo + Pseud	1451,42 a	407,64 a	977,43 a	157,44 a	18870,92 b	2913,43 a	8119,28 a	1369,45 a	1481,14 a	736,78 a
Bac + Pseud	1437,81 a	320,84 b	975,38 a	169,39 a	17695,54 c	3129,69 a	8211,18 a	1328,81 a	1261,61 b	638,29 b
Azo + Bac + Pseud	1068,96 d	334,79 b	791,37 b	129,35 a	16339,11 d	3019,32 a	7286,37 c	1258,21 a	1093,18 d	550,89 b
Erro Padrão	18,95	36,64	8,85	21,38	263,02	205,81	101,59	120,20	14,88	82,45
Teste F										
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns
Inoculação (I)	**	**	**	ns	**	ns	**	ns	**	*
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	4,78	28,34	3,72	20,58 #	5,01	21,25	4,33	26,61	4,00	19,84 #
Média geral	1253,56	408,78	752,19	162,00	16605,38	3063,39	7424,69	1428,33	1174,97	683,15

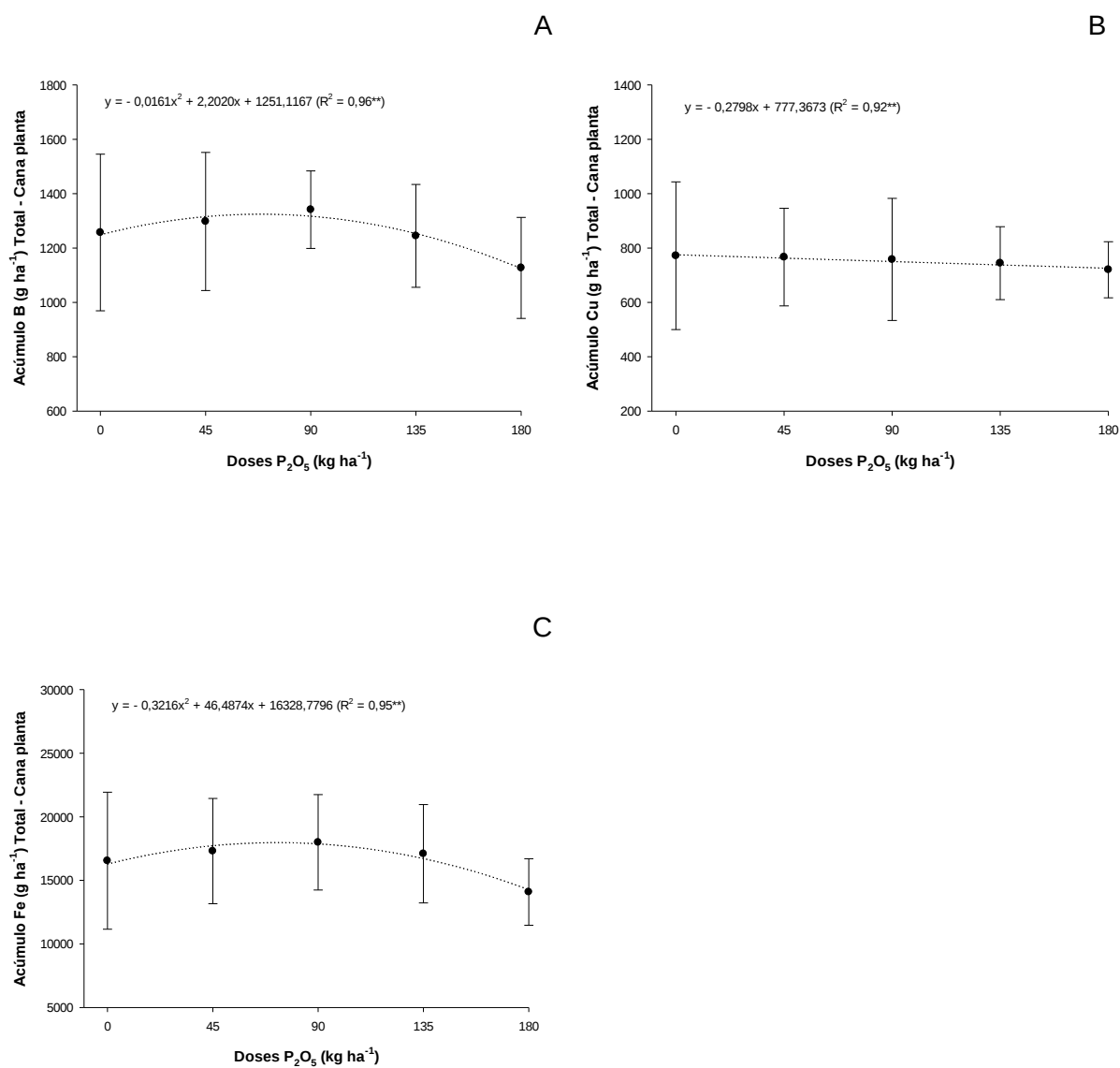
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. † Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p < 0,01, 0,01 < p < 0,05, e não significativos, respectivamente. #: dados transformados pela equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Elaboração da própria autora.

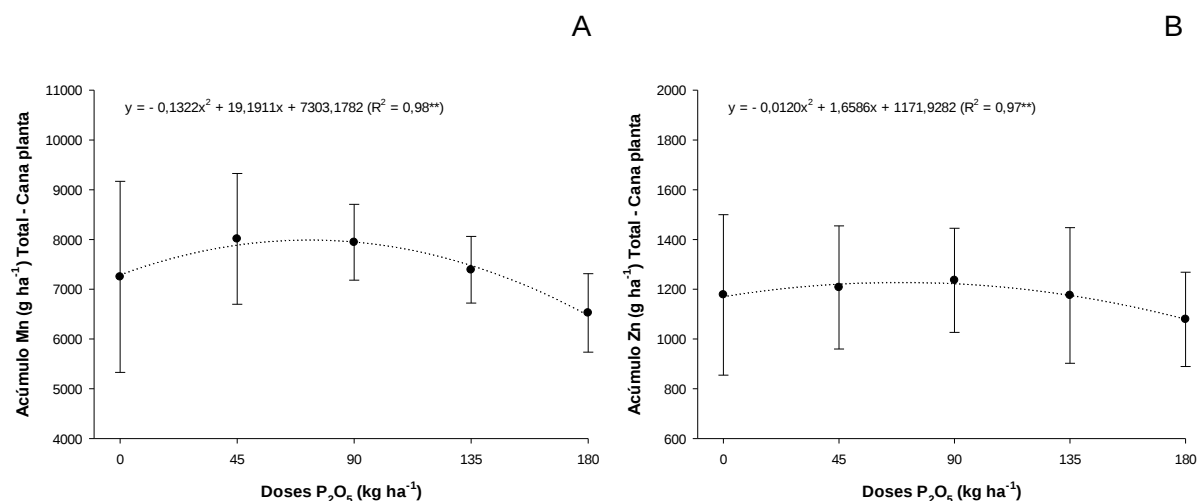
Figura 20 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de B (A), Cu (B) e Fe (C), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 21 - Efeito de doses de P_2O_5 , para acúmulo total (colmo + palhada), de Mn (A) e Zn (B), em cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

As inoculações com Azo+Pseud e Bac+Pseud, promoveram aumento do acúmulo total de B e Cu na cana-planta, em relação aos demais tratamentos, que também diferiram entre si (Tabela 45). Os incrementos foram de 45 e 43% para B e de 102 e 101%, respectivamente, em comparação a testemunha S.I. Essas duas inoculações, juntamente com Pseud, também elevaram o acúmulo total de Mn na cana-planta, com maior incremento ocorrendo para Pseud (31%). Para o acúmulo total de Fe e de Zn em cana-planta, os aumentos ocorreram com a inoculação de Azo+Bac para o primeiro e Azo+Pseud para o segundo, com incrementos de 43 e 69%, respectivamente.

O acúmulo total (colmo + palhada) médio dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da cana-planta, inoculada com BPCPs e adubada com fósforo, foi de 1253,56; 752,19; 16605,38; 7424,69 e 1174,97 $g\ ha^{-1}$ (Tabela 45). Logo, o acúmulo total de micronutrientes na parte aérea da cana-planta, variedade RB92579, no final do ciclo, apresentou a seguinte ordem decrescente $Fe > Mn > B > Zn > Cu$ (mesma sequência de acúmulo de macronutrientes que ocorreu para os colmos da cana-planta).

Na 1ª cana-soca inoculada com BPCPs, sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior (cana-planta), o acúmulo total (colmo + palhada) médio dos

micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, na parte aérea, foi de 408,78; 162,00; 3063,39; 1428,33 e 683,15 g ha⁻¹ (Tabela 45). Deste modo, o acúmulo total de micronutrientes na parte aérea da 1ª cana-soca, variedade RB92579, no final do ciclo, sob residual da adubação fosfatada do ciclo anterior, apresentou a seguinte ordem decrescente Fe > Mn > Zn > B > Cu (mesma sequência de acúmulo de micronutrientes que ocorreu para colmos e palhada da 1ª cana-soca).

Dessa forma, observando-se os resultados obtidos para o acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar, é possível observar que, o acúmulo de nutrientes no colmo exerce forte influência sobre o acúmulo total de nutrientes na parte aérea, posto que, para a maioria dos macros e micronutrientes, a maior porcentagem do total (da parte aérea) se encontra nessa fração/parte da planta.

Leite *et al.* (2016), trabalhando com três variedades de cana-de-açúcar, cultivada como 1ª cana-soca, em três municípios do estado de SP, verificaram para o acúmulo dos macronutrientes N, P e K na parte aérea das plantas, valores médios de 197, 32 e 469 kg ha⁻¹, respectivamente, semelhantes aos encontrados no presente estudo para cana-soca. Do total de N acumulado na parte aérea das plantas, os autores relatam que a maior parte (54% - 108 kg ha⁻¹) estava contida na palhada (folhas + ponteiro) e o restante (46%) correspondia ao N acumulado nos colmos. Em contrapartida, no presente estudo, o N se acumulou em maior quantidade nos colmos (Tabela 31), parte que é exportada da área de cultivo, necessitando de reposição para manter a planta adequadamente nutrida, principalmente em cana-soca que não possui reserva desse nutriente no tolete como ocorre em cana-planta, por isso demanda maior quantidade do mesmo na adubação de rebrota.

A respeito do P acumulado na parte aérea, a maior quantidade diz respeito ao acúmulo dos colmos (Tabela 31 e 39), o que também foi observado por Leite *et al.* (2016). Esses autores apontaram que do total desse nutriente na parte aérea, 59% (19 kg ha⁻¹) correspondia ao que foi acumulado nos colmos. O P é exigido em maior quantidade no momento de plantio da cana-planta devido ser um nutriente pouco móvel no solo e crucial para o desenvolvimento inicial da cultura, formação do sistema radicular e vigorosidade, perfilhamento e crescimento da planta.

Referente ao acúmulo de K na parte aérea, o mesmo comportamento foi observado, com maior quantidade desse K acumulando-se nos colmos (Tabela 31 e 39), sendo que, Leite *et al.* (2016) encontraram também 57% (266 kg ha⁻¹) de todo o K da parte aérea acumulado nos colmos. O K geralmente é exigido em quantidades

semelhantes e elevadas, tanto em cana-planta como em cana-soca, justamente por sua importante ação na translocação de sacarose. Devido ao atual sistema de cultivo de cana-crua, o acúmulo de palhada no campo tem se tornado uma importante fonte de K para a cultura, mas como a mobilidade desse nutriente é elevada nos solos tropicais (baixa CTC) o que leva a grandes perdas por lixiviação, é importante sua manutenção através da adubação, visto que esse é o nutriente mais absorvido e mais exportado pela cana-de-açúcar, o que foi observado também nesse presente estudo.

Recordando que a ordem de exportação de macronutrientes para o presente estudo foi $K > N > S > Mg > Ca > P$ para a cana-planta e $K > N > Ca > Mg > S > P$ para cana-soca. No primeiro ano a planta acumulou maior quantidade de S provavelmente por conta da maior disponibilidade desse nutriente no solo, visto que foi realizada a gessagem antes do plantio e também a presença de restos culturais da pastagem contidos na área.

As quantidades de N e K acumuladas nos colmos e total, foram maiores do que as quantidades de nutrientes que se forneceu via adubação mineral, indicando que, a complementação pode ter vindo de outras fontes como matéria orgânica do solo, palhada remanescente na área, restos culturais da pastagem cultivada anteriormente, fixação de nitrogênio atmosférico pelas bactérias, solubilização de K, maior e melhor exploração dos nutrientes presentes no solo pelo sistema radicular.

Salviano *et al.* (2017) também trabalhando com a variedade RB92579 (cana-soca), em um Vertissolo Háplico Carbonático da região Nordeste, com baixo teor de P, observaram a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes nos colmos, em kg ha^{-1} , $K > N > Ca > P > S > Mg$, com médias em kg ha^{-1} de 124,75 para N; 36,96 para P; 332,13 para K; 44,72 para Ca; 13,15 para Mg e 25,85 para S, sendo essas médias semelhantes às encontradas para a cana-soca do presente estudo, com exceção de P e Mg.

Trabalhando com diferentes fontes de fósforo, inclusive o superfosfato triplo em sulco de plantio, e duas variedades de cana-de-açúcar (cana-planta e 1ª e 2ª cana-soca) em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com baixo teor de P, Caione *et al.* (2013), observaram que a fonte farinha de ossos proporcionou maior acúmulo e exportação de P pela cultura, além disso, maior eficiência agrônômica, maior teor de Ca e P disponível no solo e aumento do pH. A média de acúmulo nos colmos (exportação) observada por esses autores, quando se aplicou superfosfato triplo (100

kg ha⁻¹ de P₂O₅), foi de 26,30 kg ha⁻¹ para cana-planta e 14,60 kg ha⁻¹ para 1ª cana-soca, valores superiores aos encontrados no presente estudo.

Calheiros *et al.* (2012) em estudo com duas variedades de cana-planta da RIDESA, sendo uma inclusive a RB92579, e doses de fósforo entre 0 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte: superfosfato triplo), em Latossolo Amarelo Coeso Distrófico com baixo teor de P, observaram acúmulo de P de 24,66 kg ha⁻¹ para a parte aérea desta variedade, valor 29% inferior ao encontrado no presente estudo (Tabela 39).

Caione *et al.* (2015), estudando a aplicação de superfosfato triplo e de fosfatos de rocha na presença ou ausência de torta de filtro, em um Argissolo Vermelho Eutrófico com baixo teor de P, na variedade CTC 15 (cana-planta), verificaram que as aplicações de doses de fósforo aumentaram os teores de fósforo no solo, nas folhas e levaram a um maior acúmulo de fósforo na parte aérea da planta, concluindo que a aplicação de P, independente da fonte, melhorou a nutrição fosfatada da cana-de-açúcar. Com a fonte superfosfato triplo, esses autores observaram acúmulo de P nos colmos de 25,4 kg ha⁻¹ e na palhada (folhas + ponteiro) de 15,3 kg ha⁻¹, resultando em acúmulo total de P de 40,7 kg ha⁻¹, de forma que, nesse caso houve menor acúmulo de P na palhada (38% de P na palhada) do que no colmo (62% de P nos colmos), quando comparado ao presente estudo (Tabela 27 e 31).

De acordo com Trivelin *et al.* (2013), 30% do P da cana-de-açúcar é acumulado nas folhas. No caso do presente estudo, o acúmulo desse nutriente foi em média de 45% nas folhas e 55% nos colmos. Ainda segundo os autores, cerca de 75% do K e 50% do N estão acumulados nos ponteiros, indicando a importância da manutenção dos ponteiros no solo para sustentar a fertilidade do solo em longo prazo e diminuir os gastos com fertilizantes minerais.

Silva *et al.* (2018), cultivando a variedade RB92579 (cana-planta e 1ª cana-soca) em Latossolo Amarelo Distrófico com médio teor de P, aplicando 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na rebrota da soqueira, observaram na parte aérea desta variedade a seguinte ordem decrescente de acúmulo de nutrientes: K > N > Ca > S > Mg > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu para ambos os ciclos de cultivo, acúmulo tal que apresentou a mesma sequência do acúmulo total da parte aérea da cana-soca do presente estudo, tanto para macro quanto para micronutrientes, exceto pelo Mg que foi maior que o S. A semelhança pode ter se dado devido ter sido a mesma variedade utilizada nas duas pesquisas.

Na mesma região em que foi desenvolvido o experimento (noroeste paulista), Benett *et al.* (2012) e Benett *et al.* (2013), trabalhando com fontes e doses de Mn aplicadas no sulco de plantio da variedade RB867515, em Argissolo Vermelho Eutrófico com baixo teor de P, encontraram que o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos colmos (exportação), correspondiam à 63, 55, 61,23,32 e 56%, respectivamente, de todo o nutriente acumulado na parte aérea da cana-planta e 59, 66, 62, 40, 55 e 67% para 1ª cana-soca.

Para os micronutrientes B, Fe, Mn e Zn, os mesmos autores verificaram que esse acúmulo nos colmos (exportação) correspondia à 44, 55, 52 e 60%, respectivamente, de todo o nutriente acumulado na parte aérea da cana-planta e 36, 44, 57 e 59% na 1ª cana-soca. Dessa forma, é possível afirmar que, no geral a cana-soca acumulou maior quantidade de macronutrientes nos colmos do que a cana-planta, e o inverso ocorreu para os micronutrientes.

A ordem decrescente de acúmulo de nutrientes na palhada da cana-planta, verificada por Benett *et al.* (2012), foi de $N > K > Ca > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > B$ e para a cana soca foi de $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > B > Zn$. Essa última também foi a mesma ordem de acúmulo foi observada no presente trabalho, na palhada da cana-de-açúcar em ambos os ciclos de cultivo, exceto para o Zn que foi mais acumulado que o B.

Nos colmos, a ordem decrescente de acúmulo de nutrientes, verificada por Benett *et al.* (2013), para a cana-planta foi de $N > K > S > Mg > Ca > P > Mn > Fe > Zn > B$ e para a cana soca foi de $K > N > Ca > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > B$. Essa última também foi a mesma ordem observada para os colmos da cana-soca do presente trabalho, com exceção do Fe que apresentou maior acúmulo nos colmos que o Mn.

A utilização do sistema de colheita de cana verde (cana sem queima), em conjunto com outras práticas de manejo com equipamentos de agricultura de precisão, pode alterar a exigência nutricional das variedades mais modernas de cana-de-açúcar, devido a grande quantidade de palhada que permanece sobre o solo da área cultivada (LEITE *et al.*, 2016).

A cana-planta acumulou maior quantidade de macro e micronutrientes em todas as partes da planta estudadas: palhada (folhas + colmo), colmos e total (parte aérea: colmo + palhada), exceto para Ca e Mg.

No geral, as inoculações envolvendo *Pseudomonas fluorescens*, se destacaram tanto para cana-planta quanto para cana-soca, visto que, na cana-planta, duas combinações foram as que promoveram aumento no acúmulo de um maior número de nutrientes, sendo elas *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*. Contudo, para cana-soca, a inoculação individual de *Pseudomonas fluorescens* e a combinação de *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* que foram as inoculações responsáveis por elevar o acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar.

Chaves (2014), trabalhando com inoculação de bactérias diazotróficas em três variedades (inclusive a RB92579) de cana-de-açúcar cultivadas em vasos e casa-de-vegetação com aplicação de ^{15}N , verificou que a inoculação aumentou a velocidade de brotação da variedade RB92579 em casa de vegetação e, nos cultivos em vasos, incrementou a massa seca e o acúmulo de N e P nas plantas inoculadas.

Leite *et al.* (2016) verificaram ainda que, altos rendimentos em soqueiras de cana-de-açúcar estão correlacionados com maiores quantidades de nutrientes acumuladas, proporções de nutrientes mais balanceadas e estreitas e maior eficiência na produção de cada unidade de colmo por unidade de nutriente acumulado.

Anteriormente, já foi relatado efeito positivo da coinoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato na biomassa e nutrição de plantas (MAGALLON-SERVÍN *et al.*, 2020), em solos com baixa disponibilidade de fósforo (como é o caso do presente estudo), que demonstraram aumento da absorção de nutrientes N, P, K por plantas de milho devido a coinoculação com esses microrganismos solubilizadores aliados a aplicação de rocha fosfatada. Neste mesmo sentido, a coinoculação de feijoeiro com cepas de *Rhizobium* e bactérias solubilizadoras de P incrementou a massa seca da parte aérea, massa do nódulo e a fixação biológica de N, em comparação apenas com a inoculação individual de *Rhizobium* (KORIR *et al.*, 2017).

5.10 ANÁLISES BIOMÉTRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

5.10.1 Número de perfilhos e de colmos industrializáveis por metro

O número de perfilhos por metro, foi avaliado em 4 épocas na cana-planta (102, 195, 283, 349 DAP) e em 4 épocas na cana-soca (164, 277, 366, 387 DAC).

O número de perfilhos por metro, na cana-planta, na época 1 (102 DAP) foi influenciado significativamente apenas pelo efeito isolado das inoculações com BPCPs (Tabela 46), de modo que, as inoculações com Azo+Bac, Azo+Pseud e Bac+Pseud aumentaram o número de perfilhos nessa primeira época, em relação as demais inoculações que foram todas estatisticamente semelhantes entre si, independentemente da dose. A primeira inoculação citada foi a que promoveu maior incremento nesta variável (19%), quando comparada a testemunha S.I.

Tabela 46 - Perfilhos e colmos industrializáveis da cana-de-açúcar, variedade RB92579, ao longo do tempo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

Número de perfilhos por metro								
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta				Cana-soca			
	Época 1 (102 DAP)	Época 2 (195 DAP)	Época 3 (283 DAP)	Época 4 (349 DAP)	Época 1 (164 DAC)	Época 2 (277 DAC)	Época 3 (366 DAC)	Época 4 (387 DAC)
0	24,81	13,53	14,81	14,63	27,98	15,84	15,19	13,98
45	30,37	14,31	15,75	15,10	30,09	17,14	16,64	14,74
90	26,64	14,65	15,45	14,90	30,53	16,38	16,79	15,14
135	29,13	15,38	15,63	15,71	30,06	17,42	16,61	14,84
180	29,42	14,37	15,27	14,69	28,54	16,20	15,53	14,49
Inoculação								
S.I.	26,60 b	13,12	14,67	13,39	28,12	16,08 a	14,92 a	14,00
Azo	26,65 b	13,79	15,36	14,36	29,11	16,60 a	15,44 a	14,84
Bac	26,17 b	14,83	15,45	15,57	28,65	17,45 a	16,56 a	14,75
Pseud	27,04 b	15,13	15,68	15,43	29,02	16,73 a	16,66 a	14,22
Azo + Bac	31,58 a	14,57	14,87	15,72	29,74	17,05 a	16,61 a	15,13
Azo + Pseud	29,04 a	13,95	14,96	14,51	30,64	15,52 a	16,08 a	14,33
Bac + Pseud	29,46 a	16,09	16,99	16,13	31,32	17,21 a	16,44 a	15,32
Azo + Bac + Pseud	28,04 b	14,10	15,07	14,94	28,92	16,11 a	16,50 a	14,52
Erro Padrão	1,29	0,38	0,44	0,36	0,79	0,55	0,49	0,48
Teste F								
Doses de P_2O_5 (D)	ns	**	ns	ns	*	ns	**	ns
Inoculação (I)	*	**	*	**	ns	ns	ns	ns
D x I	ns	**	**	**	**	ns	ns	*
C.V. (5%)	20,52	11,75	12,71	10,79	12,02	14,92	13,60	14,78
Média geral	28,07	14,45	15,38	15,01	29,44	16,59	16,15	14,64

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. DAP: dias após o plantio. DAC: dias após a colheita da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Ainda para a cana-planta, o número de perfilhos nas épocas 2 (195 DAP), época 3 (283 DAP) e época 4 (349 DAP – época que representa o número de colmo industrializáveis por metro), foram influenciados significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 46). Na época 2, a inoculação

com Pseud se ajustou a função quadrática até a dose de 105 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e S.I. se ajustou a função linear crescente, sendo que, a medida que se aumentavam as doses de fósforo aplicadas o número de perfilhos também aumentava (Figura 22A). Na época 3, novamente Pseud se ajustou a função quadrática, neste caso, até a dose de 99 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Bac+Pseud se ajustou a função linear decrescente, ou seja, a medida que se aumentavam as doses de fósforo aplicadas, essa inoculação era prejudicada, resultando em queda no número de perfilhos (Figura 22B). Na época 4, houve ajuste quadrático para Pseud até a dose 114 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Bac até a dose 53 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 22C).

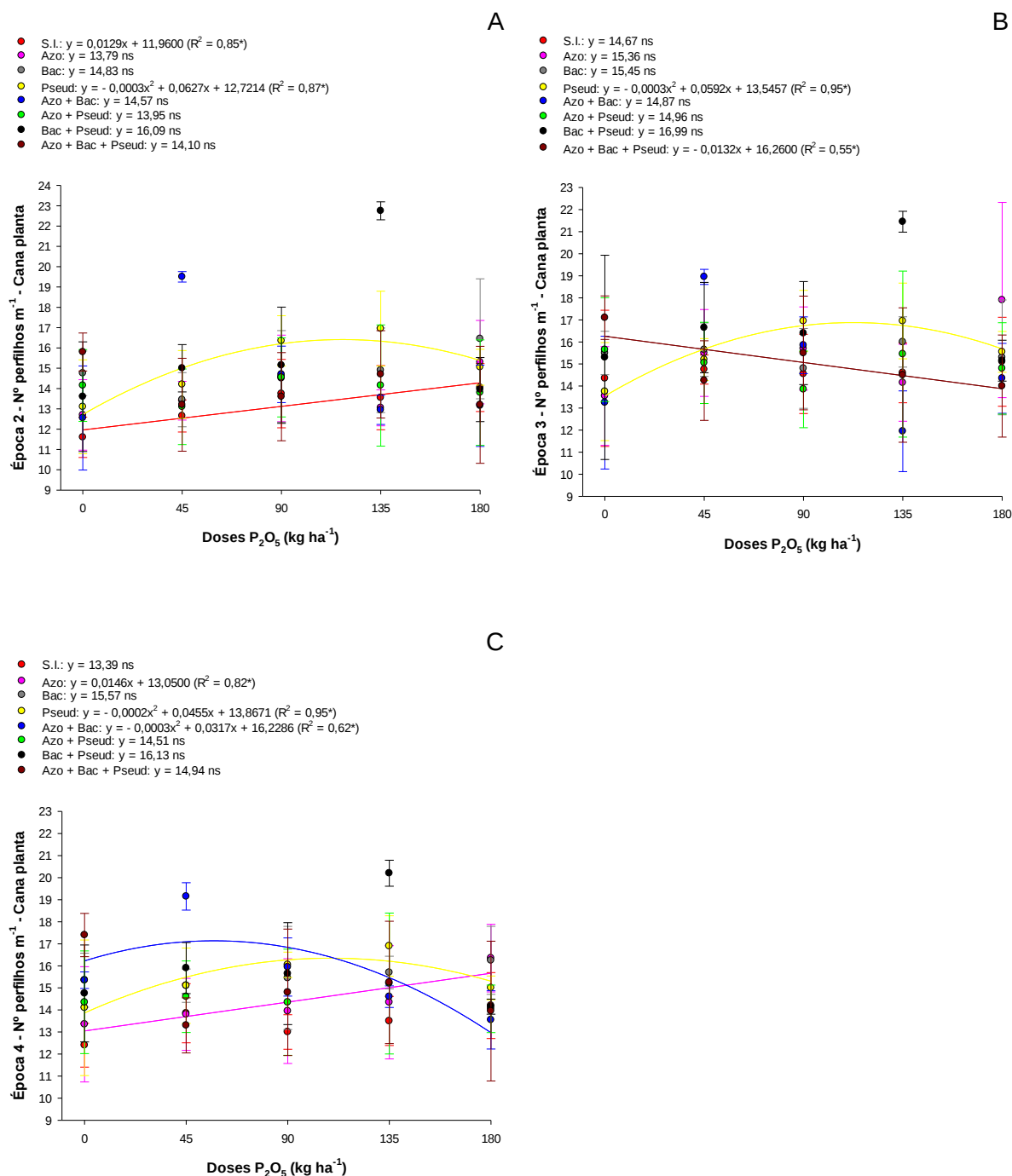
As inoculações, em cana-planta, com Azo+Bac associada a dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Bac+Pseud associada a dose de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentaram o número de perfilhos nas épocas 2, 3 e 4 da cana-planta (Tabela 47). As inoculações com Bac e com Azo+Bac+Pseud ambas associadas a dose 0, aumentaram o número de perfilhos na época 2 e 4. As inoculações com Azo+Pseud e Azo+Bac, também sem aplicação de fertilizante fosfatado, aumentaram essa variável, a primeira na época 2 e a segunda na época 4, respectivamente. Além disso, Pseud associada a dose de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, também aumentou o número de perfilhos na época 2.

Os maiores incrementos no número de perfilhos por metro da cana-planta, foram observados com as inoculações de Bac+Pseud na dose 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Bac na dose 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentando o número de perfilhos em 68 e 54%; 47 e 28%; 50 e 38%, respectivamente, nas épocas 2, 3 e 4 (colmos industrializáveis), para essas duas inoculações, em relação a testemunha S.I na mesma dose (Tabela 47). Na maior dose (180) não houve influência das inoculações nesta variável em nenhuma das épocas.

A cana-planta alcançou uma média geral de 15,01 perfilhos por metro no final do ciclo e a cana-soca 14,64; valores relativamente semelhantes, possivelmente indicando longevidade do canavial (Tabela 46).

Na cana-soca, o número de perfilhos por metro na época 1 (164 DAC) e época 4 (387 DAC) foram influenciados significativamente pelo efeito da interação entre doses de P₂O₅ e inoculações (Tabela 46). Para a época 1, houve ajuste a função quadrática para as inoculações S.I. até a dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Bac até a dose de 104 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Azo+Bac até a dose de 77 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Bac+Pseud até a dose de 98 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 23 A). Na época 4, somente houve ajuste para Azo+Bac a função quadrática até a dose de 89 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 23B).

Figura 22 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para número de perfilhos por metro na época 2 (A), época 3 (B) e época 4 (C), da cana-planta.



**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).

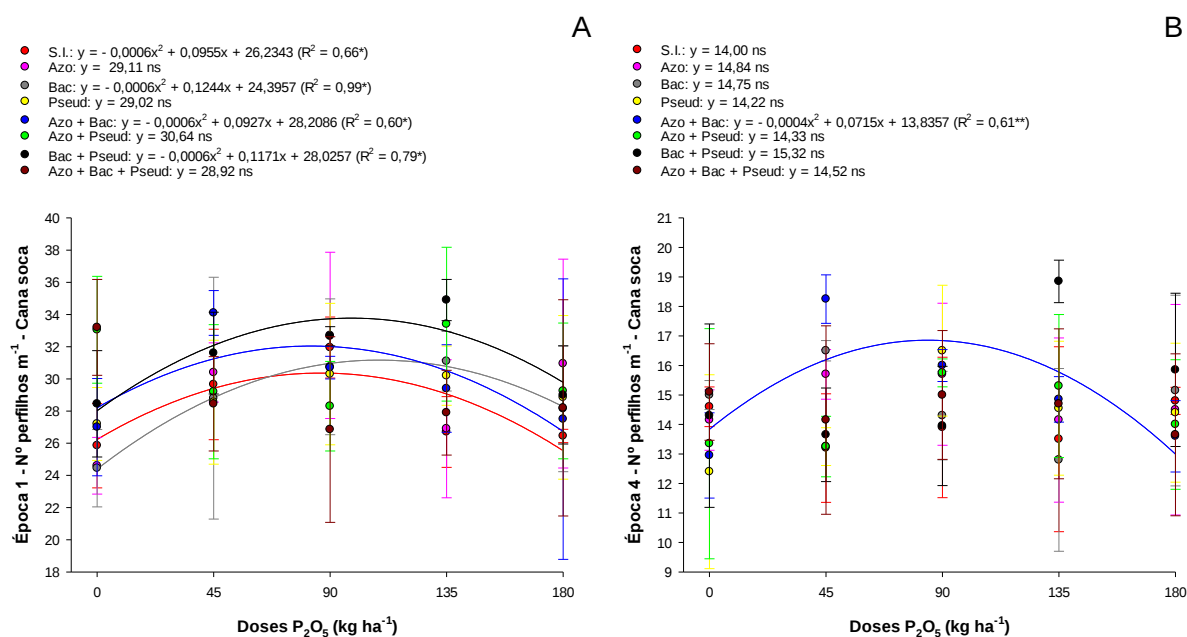
Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 47 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro, na cana-planta.

Época 2 (195 DAP) – N° de perfilhos por metro - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	11,60 b	12,65 b	13,75 a	13,55 c	14,05 a
Azo	12,70 b	13,40 b	14,50 a	13,05 c	15,30 a
Bac	14,75 a	13,45 b	14,60 a	14,90 c	16,45 a
Pseud	13,10 b	14,20 b	16,35 a	16,95 b	15,05 a
Azo + Bac	12,55 b	19,50 a	14,70 a	12,95 c	13,15 a
Azo + Pseud	14,15 a	13,10 b	14,55 a	14,15 c	13,80 a
Bac + Pseud	13,60 b	15,00 b	15,15 a	22,75 a	13,95 a
Azo + Bac + Pseud	15,80 a	13,20 b	13,60 a	14,70 c	13,20 a
Erro padrão	0,85				
Época 3 (283 DAP) – N° de perfilhos por metro - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	14,35 a	14,75 b	14,55 a	14,60 b	15,10 a
Azo	13,55 a	15,50 b	15,70 a	14,15 b	17,90 a
Bac	15,50 a	15,65 b	14,80 a	16,00 b	15,30 a
Pseud	13,75 a	15,20 b	16,95 a	16,95 b	15,55 a
Azo + Bac	13,25 a	18,95 a	15,85 a	11,95 b	14,35 a
Azo + Pseud	15,65 a	15,05 b	13,85 a	15,45 b	14,80 a
Bac + Pseud	15,30 a	16,65 b	16,40 a	21,45 a	15,15 a
Azo + Bac + Pseud	17,10 a	14,25 b	15,50 a	14,50 b	14,00 a
Erro padrão	0,98				
Época 4 (349 DAP) - N° de perfilhos (colmos industrializáveis) por metro - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	12,40 b	13,85 b	13,00 a	13,50 b	14,20 a
Azo	13,35 b	13,80 b	13,95 a	14,35 b	16,35 a
Bac	15,35 a	15,10 b	15,45 a	15,70 b	16,25 a
Pseud	14,10 b	15,10 b	16,05 a	16,90 b	15,00 a
Azo + Bac	15,35 a	19,15 a	15,95 a	14,60 b	13,55 a
Azo + Pseud	14,35 b	14,60 b	14,35 a	15,20 b	14,05 a
Bac + Pseud	14,75 b	15,90 b	15,65 a	20,20 a	14,15 a
Azo + Bac + Pseud	17,40 a	13,30 b	14,80 a	15,25 b	13,95 a
Erro padrão	0,81				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). DAP: dias após o plantio. Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 23 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para número de perfilhos por metro na época 1 (A) e época 4 (B), da cana-soca.



** , * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Novamente, a inoculação com Bac+Pseud associada a dose de $135\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , aumentou o número de perfilhos na época 4 (colmos industrializáveis) da cana-soca e, juntamente com as inoculações Azo+Pseud e Bac, nesta mesma dose, elevou o número de perfilhos da época 1 (Tabela 48). Na época 4, combinadas à dose de $45\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , as inoculações com Azo, Bac e Azo+Bac também aumentaram o número de colmos industrializáveis. Na época 1, Azo+Pseud e Azo+Bac+Pseud, na ausência de adubação fosfatada, elevaram o número de perfilhos. Os maiores incrementos em relação a S.I., foram observados no tratamento Bac+Pseud na dose $135\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 (31% para época 1 e 40% para época 4, da cana-soca).

Tabela 48 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro, na cana-soca.

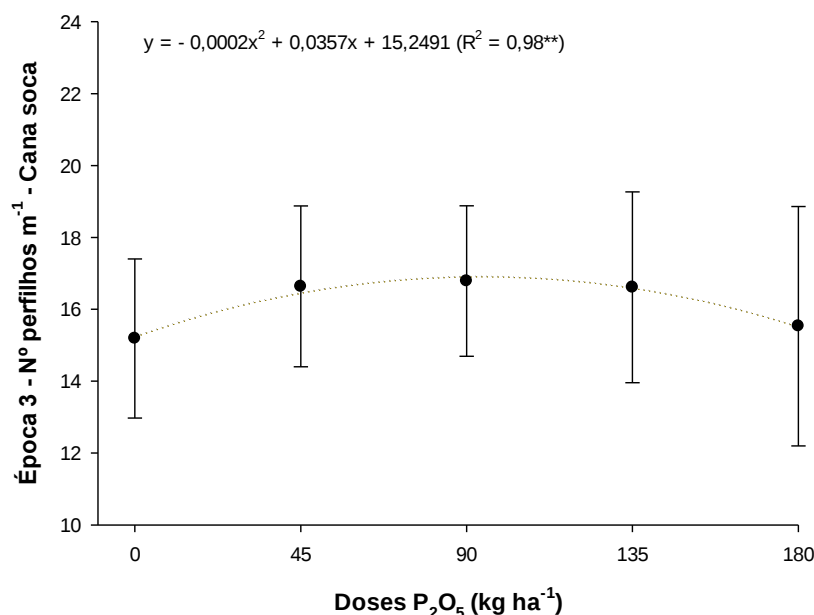
Época 1 (164 DAC) - N° de perfilhos por metro - Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.l.	25,85 b	29,65 a	31,95 a	26,70 b	26,45 a
Azo	24,60 b	30,40 a	32,70 a	26,90 b	30,95 a
Bac	24,45 b	28,80 a	30,75 a	31,10 a	28,15 a
Pseud	27,20 b	28,55 a	30,30 a	30,20 b	28,85 a
Azo + Bac	27,00 b	34,10 a	30,70 a	29,40 b	27,50 a
Azo + Pseud	33,05 a	29,20 a	28,30 a	33,40 a	29,25 a
Bac + Pseud	28,45 b	31,60 a	32,65 a	34,90 a	29,00 a
Azo + Bac + Pseud	33,20 a	28,45 a	26,85 a	27,90 b	28,20 a
Erro padrão	1,77				
Época 4 (387 DAC) - N° de perfilhos (colmos industrializáveis) por metro - Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.l.	14,60 a	13,20 b	13,90 a	13,50 b	14,80 a
Azo	14,15 a	15,70 a	15,70 a	14,15 b	14,50 a
Bac	15,00 a	16,50 a	14,30 a	12,80 b	15,15 a
Pseud	12,40 a	13,25 b	16,50 a	14,55 b	14,40 a
Azo + Bac	12,95 a	18,25 a	16,00 a	14,85 b	13,60 a
Azo + Pseud	13,35 a	13,25 b	15,75 a	15,30 b	14,00 a
Bac + Pseud	14,30 a	13,65 b	13,95 a	18,85 a	15,85 a
Azo + Bac + Pseud	15,10 a	14,15 b	15,00 a	14,70 b	13,65 a
Erro padrão	1,08				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.l. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. DAC: dias após a colheita da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

A época 2 (277 DAC), da cana-soca, não foi influenciada pelos tratamentos estudados, enquanto que, à época 3 (366 DAC) foi influenciada somente pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 aplicadas (Tabela 46). Neste último caso, ocorreu ajuste a uma função quadrática até a dose de 89 kg ha⁻¹ de P_2O_5 para essa variável (Figura 24).

Também trabalhando com a variedade RB92579, Oliver e Silva (2018), quando utilizaram inoculação de uma mistura de bactérias diazotróficas contendo *Azospirillum* e a aplicação de doses de N, mencionaram não haver efeito desses tratamentos no número de perfilhos por ocasião da colheita aos 379 DAC (colmos industrializáveis por metro), encontrando média de 14,4 perfilhos por metro para inoculação realizada na soqueira da cana-de-açúcar, sendo esta média semelhante à média observada no presente experimento (14,64).

Figura 24 - Efeito de doses de P_2O_5 , para número de perfilhos por metro na época 3, da cana-soca.



******, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

Estudando a aplicação de doses de fosfato reativo Bayóvar aplicado a lanço em área total e, doses de superfosfato triplo aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar variedade RB92579, Albuquerque *et al.* (2016), relataram que a interação dessas duas fontes de variação influenciou o número de perfilhos aos 30 DAP, de maneira que, para a dose de $100\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 aplicada em área total houve efeito linear decrescente sobre o número de perfilhos, enquanto a dose de $200\ kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , resultou em comportamento quadrático com ponto de mínimo.

Avaliando o número de perfilhos aos 120 DAP de mudas pré-brotadas cultivada em vasos, Santos, Kandasamy e Rigobelo (2018), observaram que *Bacillus subtilis* e a mistura de *B. subtilis* + *B. pumilus* combinada à fertilização mineral mais aplicação de vinhaça, proporcionaram significativamente maior número de perfilhos do que a testemunha não inoculada.

Santos, Kandasamy e Rigobelo (2018), estudando aplicação de BPCPs e adubação mineral em vasos com mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, relataram aos 120 DAP que a aplicação de *Bacillus pumilus* aumentou o número de perfilhos em 37%, o diâmetro dos perfilhos em 48% e a matéria seca total em 13%, quando combinada com a fertilização mineral.

5.10.2 Altura de plantas, Diâmetro do colmo e Número de internódios por colmo

A altura de plantas foi avaliada em 4 épocas na cana-planta (102, 195, 283, 349 DAP) e em 3 épocas na cana-soca (164, 277, 366 DAC).

A altura de plantas, na cana-planta, na época 1 (102 DAP) e época 2 (195 DAP) foi influenciada significativamente pelo efeito isolado das doses de P_2O_5 (Tabela 49), de maneira que, ocorreram ajustes a funções lineares crescentes para ambas as épocas de avaliação (Figura 25), ou seja, à medida que se aumentava a aplicação de P_2O_5 , as plantas respondiam positivamente aumentando sua altura, independentemente da inoculação. As épocas 3 (283 DAP) e 4 (349 DAP) não foram influenciadas pelos tratamentos estudados (Tabela 49).

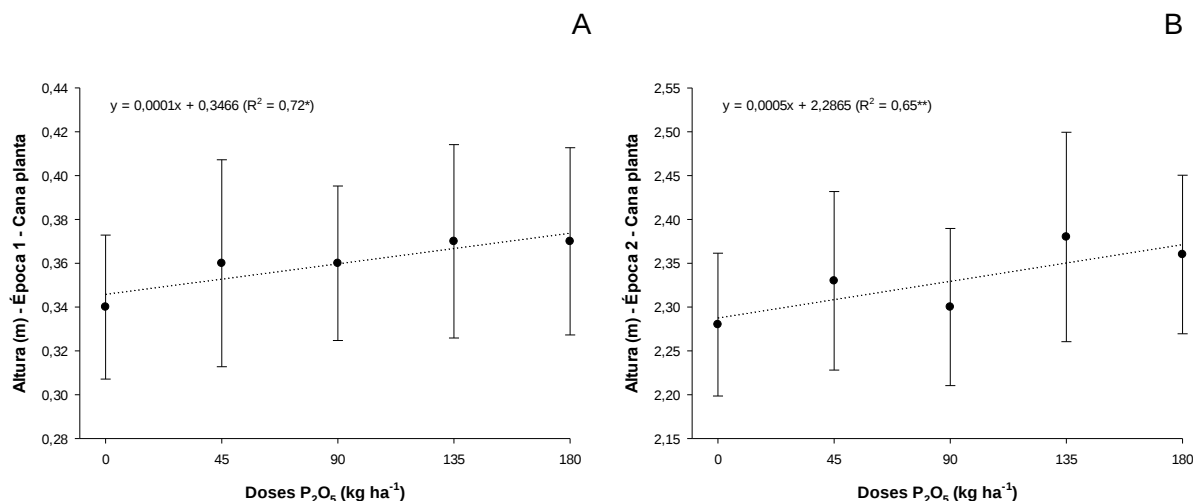
Tabela 49 - Altura de plantas de cana-de-açúcar, variedade RB92579, ao longo do tempo, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

Altura de plantas (m)							
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta				Cana-soca		
	Época 1 (102 DAP)	Época 2 (195 DAP)	Época 3 (283 DAP)	Época 4 (349 DAP)	Época 1 (164 DAC)	Época 2 (277 DAC)	Época 3 (366 DAC)
0	0,34	2,28	3,77	3,76	0,78	2,52	3,31
45	0,36	2,33	3,79	3,78	0,83	2,53	3,31
90	0,36	2,30	3,73	3,73	0,87	2,56	3,34
135	0,37	2,38	3,87	3,83	0,86	2,60	3,43
180	0,37	2,36	3,80	3,84	0,87	2,59	3,38
Inoculação							
S.I.	0,35 a	2,34 a	3,80 a	3,75 a	0,79 a	2,50 a	3,35 a
Azo	0,36 a	2,32 a	3,75 a	3,73 a	0,87 a	2,56 a	3,32 a
Bac	0,35 a	2,35 a	3,82 a	3,84 a	0,81 a	2,53 a	3,32 a
Pseud	0,36 a	2,36 a	3,81 a	3,79 a	0,93 a	2,57 a	3,35 a
Azo + Bac	0,37 a	2,34 a	3,79 a	3,79 a	0,89 a	2,56 a	3,38 a
Azo + Pseud	0,36 a	2,31 a	3,79 a	3,77 a	0,84 a	2,59 a	3,36 a
Bac + Pseud	0,39 a	2,33 a	3,82 a	3,80 a	0,80 a	2,61 a	3,40 a
Azo + Bac + Pseud	0,34 a	2,29 a	3,77 a	3,83 a	0,81 a	2,57 a	3,33 a
Erro Padrão	0,01	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05
Teste F							
Doses de P_2O_5 (D)	*	*	ns	ns	*	*	*
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
D x I	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	9,56	3,74	3,38	3,76	14,94	5,35	4,29
Média geral	0,36	2,33	3,79	3,79	0,84	2,56	3,35

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. DAP: dias após o plantio. DAC: dias após a colheita da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 25 - Efeito de doses de P_2O_5 , para altura de plantas na época 1 (A) e época 4 (B), da cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tratando-se da cana-soca, todas as épocas avaliadas (época 1: 164 DAC, época 2: 277 DAC e época 3: 366 DAC) foram influenciadas pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 aplicadas, cujos dados se ajustaram a funções lineares crescentes, assim como havia ocorrido para a cana-planta (Figura 26).

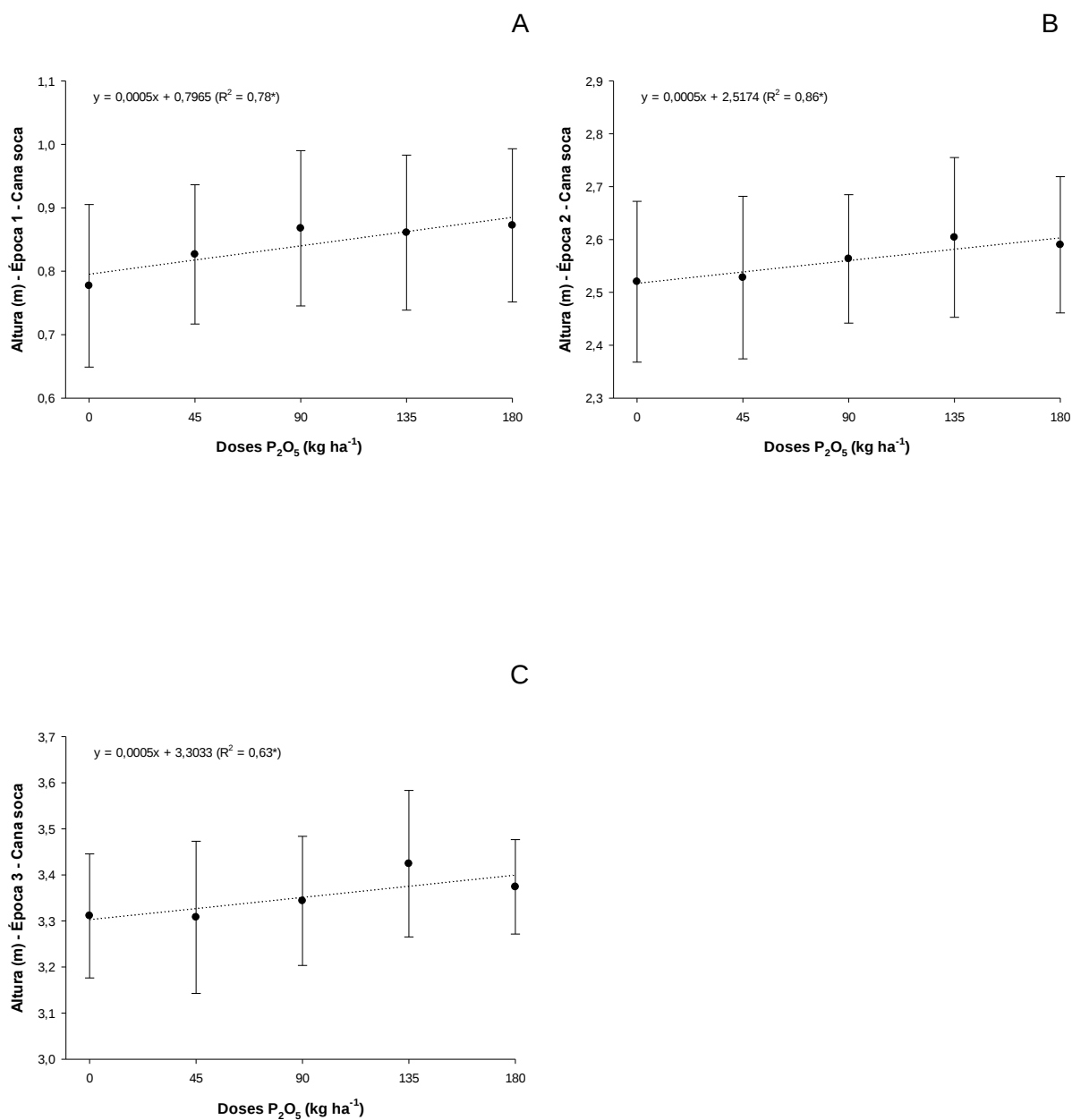
Mesmo não havendo significância para inoculações, no geral, a inoculação com Bac+Pseud apresentou maiores valores de altura em um maior número de épocas, em ambos os ciclos de cultivo (Tabela 49).

A cana-planta no final do seu ciclo, apresentou altura média geral de 3,79 m, enquanto a altura da cana-soca foi de 3,35 m (Tabela 49).

O diâmetro do colmo e o número de internódios por colmo, não foram influenciados pelas doses de P_2O_5 aplicadas e nem pelas inoculações com BPCPs, bem como pelo efeito de suas interações (Tabela 50). Ainda assim, é possível perceber que Bac+Pseud foi a inoculação que proporcionou os maiores incrementos nos valores de diâmetro do colmo, e o mesmo comportamento ocorreu para o número de internódios por colmo da cana-soca.

A média geral do diâmetro da cana-planta foi menor do que da cana-soca, e o inverso ocorreu para número de internódios por colmos (Tabela 50).

Figura 26 - Efeito de doses de P_2O_5 , para altura de plantas na época 1 (A), época 2 (B) e época 3 (C), da cana-soca.



**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 50 - Diâmetro do colmo e número de internódios por colmo da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Diâmetro do colmo (mm)		Número de internódios por colmo	
	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	25,91	27,87	21,75	20,34
45	25,92	26,96	22,03	20,25
90	26,49	27,10	21,94	20,19
135	26,75	27,29	22,09	19,56
180	26,02	27,64	21,25	20,81
Inoculação				
S.I.	24,62 a	25,72 a	21,95 a	20,65 a
Azo	26,02 a	26,58 a	21,15 a	19,85 a
Bac	25,83 a	27,30 a	21,75 a	19,40 a
Pseud	25,96 a	27,43 a	21,50 a	20,55 a
Azo + Bac	26,98 a	28,44 a	22,50 a	20,80 a
Azo + Pseud	26,54 a	27,69 a	22,70 a	20,05 a
Bac + Pseud	27,19 a	28,60 a	21,30 a	20,95 a
Azo + Bac + Pseud	26,62 a	27,22 a	21,65 a	19,60 a
Erro Padrão	0,50	0,76	0,39	0,58
Teste F				
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	ns	ns	ns
Inoculação (I)	ns	ns	ns	ns
D x I	ns	ns	ns	ns
C.V. (5%)	6,06	8,79	5,70	9,01
Média geral	26,22	27,37	21,81	20,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

† Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Oliver e Silva (2018), não observaram efeito da inoculação com uma mistura de bactérias diazotróficas contendo *Azospirillum*, no diâmetro de colmos da cana-de-açúcar variedade RB92579, no final do ciclo da cana-soca (379 DAC), entretanto, relataram aumento significativo na altura de plantas dessa mesma época, quando se inoculou as soqueiras com essa mistura de bactérias, observando incrementos de 4% em relação ao controle não inoculado. Os valores médios observados foram de 2,77 m para altura e 26,6 mm para o diâmetro (que foram inferior e semelhante, respectivamente, aos encontrados no presente experimento, para essas duas variáveis).

Trabalhando com a variedade RB92579, Pereira *et al.* (2020), relataram média de 16,6 internódios por colmo, com a aplicação de bioestimulante em cana-soca. E Silva *et al.* (2020), encontraram valores de 15,3 em cana-planta e 12,9 internódios por colmo em cana-soca, ambos na fase de maturação da variedade RB855453. A maturação da cana-de-açúcar ocorre da base do colmo para o ápice, nos distintos nós e internódios/entrenós, sendo assim, quanto maior o comprimento do entrenó e quanto maior o diâmetro do colmo, maior sua capacidade de reserva de sacarose.

De acordo com Albuquerque *et al.* (2016), doses de fósforo na forma de fosfato reativo Bayóvar aplicado a lanço em área total e superfosfato triplo aplicado em sulco de plantio, promoveram aumento no diâmetro dos colmos aos 120 DAP da cana-planta variedade RB92579, de modo que, observaram média de 13 mm sem a aplicação de P_2O_5 em área total e, o maior diâmetro (15 mm) foi obtido com a associação de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de fosfato reativo Bayóvar aplicado em área total mais 173 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo aplicado em sulco de plantio.

Tayade *et al.* (2019), trabalhando com consórcios microbianos contendo *A. brasilense* e *B. subtilis*, visando avaliar o efeito do manejo da palhada da cultura e da ciclagem de nutrientes por esses microrganismos na soqueira da cana-de-açúcar, não observaram efeito na altura de plantas e diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar, bem como no número de colmos industrializáveis.

Estudando a aplicação de doses de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo e de fosfato de rocha, em Argissolo Vermelho Eutrófico com baixo teor de P, cultivado com a variedade CTC 15 (cana-planta), Caione *et al.* (2015), 12 meses após o plantio verificaram que, a altura de plantas, o diâmetro do colmo e o número de colmos industrializáveis por metro não foram influenciados pelas fontes utilizadas. Ainda segundo esses autores, o maior número de colmos industrializáveis por metro foi encontrado com a aplicação de 268 kg ha^{-1} de P_2O_5 (16 colmos) e, valores médios de 3,4 m para a altura e 28,6 mm para o diâmetro foram observados quando se utilizou o superfosfato triplo, independente da dose aplicada. Tais valores são semelhantes as médias gerais encontradas no presente estudo para essas variáveis.

Um estudo visando avaliar a integração de um consórcio microbiano (contendo *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Trichoderma harzianum* e *Pseudomonas fluorescens*) com a adubação mineral NPK, foi realizado por Shukla *et al.* (2020), em solo argiloso com médio teor de P. Os autores relataram que a aplicação do fertilizante

mineral NPK aliada à aplicação do consórcio microbiano aumentou a altura de plantas, o diâmetro dos colmos e a massa seca da cana-de-açúcar (cana-planta Cv. Co0238) em 81, 16 e 88%, respectivamente, comparando-se a adubação com a máxima dose de NPK em relação ao controle não adubado e não inoculado. Com a dose de 50% de NPK aliada ao consórcio microbiano, os incrementos foram de 75, 10 e 61% em relação ao controle.

5.11 PRODUTIVIDADE DE COLMOS (TCH)

A produtividade de colmos ou TCH (toneladas de colmos por hectare) em ambos os ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca), foram influenciadas pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações com BPCPs (Tabela 51).

Com relação à produtividade de colmos (TCH) da cana-planta, houve ajuste a funções lineares crescentes para S.I, Pseud e Bac+Pseud (Figura 27A). Ocorreu ajuste quadrático para Bac até 96 kg ha^{-1} de P_2O_5 , de modo que, utilizando-se esta dose, a produtividade máxima estimada seria de $188 \text{ t colmos ha}^{-1}$. A inoculação com Azo+Pseud também se ajustou a função quadrática até 112 kg ha^{-1} de P_2O_5 , de maneira que, a produtividade máxima estimada seria de $203 \text{ t colmos ha}^{-1}$ com a aplicação dessa referida dose.

No geral, nas doses intermediárias de fertilizante fosfatado ($45, 90$ e 135 kg ha^{-1} de P_2O_5) notou-se efeito positivo mais pronunciado das inoculações com as BPCPs quanto ao aumento da produtividade de colmos na cana-planta, exceto para a combinação tripla de bactérias Azo+Bac+Pseud (Tabela 52). A menor e a maior dose de fósforo não foram influenciadas pelas inoculações, demonstrando-se que as BPCPs estudadas necessitam ser combinadas aos fertilizantes minerais fosfatados para obtenção de maiores benefícios à cultura, mas que doses muito elevadas podem prejudicar a atuação das mesmas.

Entre todos os tratamentos, na cana-planta, a maior produtividade de colmos foi constatada na inoculação com Bac+Pseud associada à dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 e a segunda maior produtividade de colmos na inoculação com Azo+Bac associada à dose de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 52). Ambos os tratamentos proporcionaram produtividade de colmos superiores à testemunha S.I nestas mesmas doses, em 31 e 38% ($51,1$ e $58,1 \text{ t colmos ha}^{-1}$ a mais), respectivamente. Isso demonstra a importância da combinação de mais de uma bactéria benéfica para promover um melhor desempenho das plantas. Portanto, visando produtividade de

colmos, a combinação Azo+Bac aliada a dose 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ seria mais rentável ao produtor/usina do que a combinação Bac+Pseud com a dose 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, pois a diferença de produtividade de colmos entre esses dois tratamentos é de apenas 3,4% (7,1 t ha⁻¹), enquanto a economia de fertilizante que se gera optando pela primeira combinação ao invés da segunda é de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (redução de 75% do fertilizante fosfatado aplicado). Também é importante ressaltar que, mesmo sem aplicação de fertilizante fosfatado (dose 0), a inoculação com Azo+Bac proporcionou uma produtividade de colmos de 10 t ha⁻¹ a mais em relação ao tratamento S.I com aplicação de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 52).

Tabela 51 - Produtividade de colmos (t ha⁻¹) ou toneladas de colmos por hectare (TCH) da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

Produtividade de colmos - TCH (t ha ⁻¹)		
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	Cana-planta	Cana-soca
0	175,31	140,10
45	177,60	150,99
90	180,11	159,23
135	181,14	155,94
180	189,99	143,60
Inoculação		
S.I.	167,58	142,35
Azo	177,23	148,56
Bac	177,11	145,69
Pseud	185,13	155,51
Azo + Bac	186,21	148,23
Azo + Pseud	189,05	155,89
Bac + Pseud	196,78	162,14
Azo + Bac + Pseud	167,56	141,43
Erro Padrão	5,30	3,93
Teste F		
Doses de P ₂ O ₅ (D)	ns	**
Inoculação (I)	**	**
D x I	**	**
C.V. (5%)	13,11	11,71
Média geral	180,83	149,97

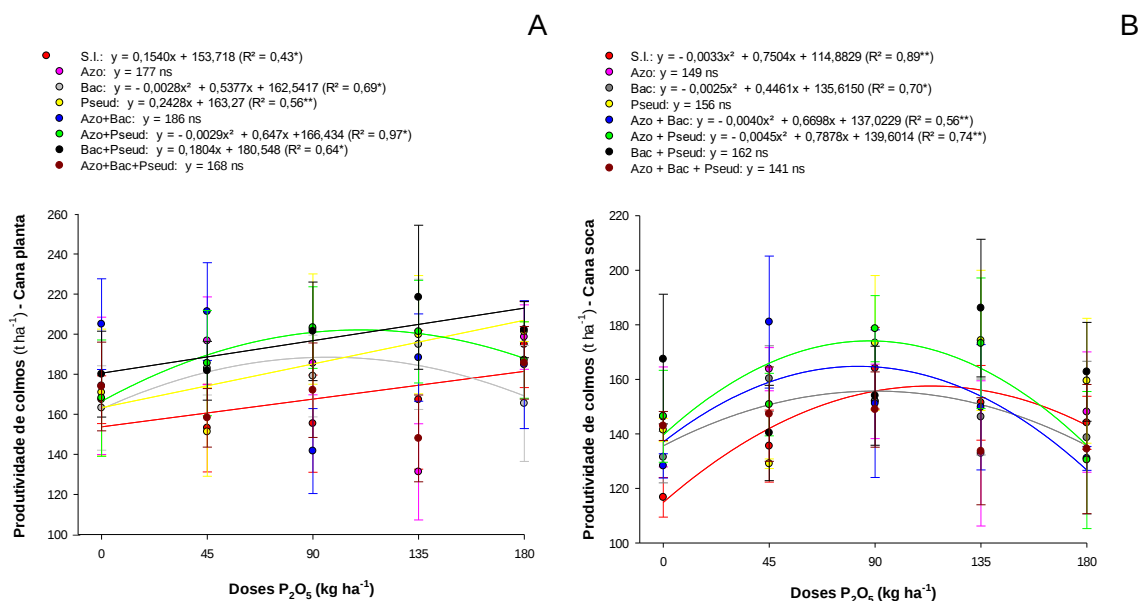
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em p <0,01, 0,01 <p <0,05, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

† Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 27 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para produtividade de colmos da cana-de-açúcar, cana-planta (A) e cana-soca (B).



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Com relação a produtividade de colmos (TCH) da cana-soca, ocorreram ajustes quadráticos para Bac até 89 kg ha^{-1} de P_2O_5 , posto que, utilizando-se esta dose, a produtividade máxima estimada seria de $156 \text{ t colmos ha}^{-1}$ (Figura 27B). As inoculações com Azo+Bac, Azo+Pseud e a testemunha S.I., também se ajustaram a funções quadráticas até as doses de 84 , 88 e 114 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente, de maneira que, a produtividade máxima estimada seria de 165 , 174 e $158 \text{ t colmos ha}^{-1}$, aplicando-se as referidas doses.

Na cana-soca, diferentemente da cana-planta, as inoculações não influenciaram a produtividade de colmos somente na dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 52). Nas demais doses houve efeito positivo das mesmas para o TCH em diversos tratamentos. A dose 0 kg ha^{-1} de P_2O_5 , foi a que beneficiou um maior número de inoculações nesta variável, ou seja, somente Bac e Azo+Bac nesta dose, não aumentaram a produtividade de colmos.

Tabela 52 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para produtividade de colmos da cana-de-açúcar.

Produtividade de colmos ou TCH (t ha ⁻¹) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	167,30 a	153,13 b	155,33 b	167,25 b	194,90 a
Azo	174,20 a	196,68 a	185,48 a	131,25 b	198,55 a
Bac	163,15 a	182,98 a	179,10 a	194,90 a	165,43 a
Pseud	170,85 a	151,25 b	202,55 a	199,73 a	201,25 a
Azo + Bac	205,03 a	211,28 a	141,65 b	188,33 a	184,78 a
Azo + Pseud	168,08 a	185,53 a	203,30 a	201,28 a	187,08 a
Bac + Pseud	180,03 a	181,75 a	201,43 a	218,43 a	202,28 a
Azo + Bac + Pseud	173,88 a	158,25 b	172,03 b	147,95 b	185,68 a
Erro padrão	11,85				
Produtividade de colmos ou TCH (t ha ⁻¹) Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	116,73 b	135,50 b	164,08 a	151,40 b	144,05 b
Azo	146,23 a	163,75 a	151,93 a	132,85 b	148,03 a
Bac	131,45 b	160,28 a	151,90 a	146,20 b	138,60 b
Pseud	141,40 a	129,05 b	173,35 a	174,28 a	159,48 a
Azo + Bac	128,25 b	181,03 a	151,10 a	149,78 b	131,00 b
Azo + Pseud	146,45 a	150,75 b	178,60 a	173,23 a	130,43 b
Bac + Pseud	167,43 a	140,35 b	154,00 a	186,15 a	162,75 a
Azo + Bac + Pseud	142,90 a	147,25 b	148,93 a	133,63 b	134,45 b
Erro padrão	8,78				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Os maiores valores de produtividade de colmos na cana-soca, em relação a testemunha S.I. na mesma dose, se deram com a inoculação de Bac+Pseud associada a dose 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (35 t colmos ha⁻¹: 23% de incremento) e Azo+Bac associada a dose 45 kg ha⁻¹ de P_2O_5 (46 t colmos ha⁻¹: 34% de incremento) (Tabela 52). A diferença de produtividade de um tratamento para o outro é de apenas 2,8% (5,1 t colmos ha⁻¹). Desta forma, é possível verificar que, o comportamento da cana-planta se repetiu na cana-soca, com relação às combinações que proporcionaram maiores benefícios à produtividade de colmos, sendo preferível optar pela combinação Azo+Bac associada a dose de 45 kg ha⁻¹ de P_2O_5 aplicada em sulco de plantio, visando reduzir os custos com fertilizante fosfatado e elevar a produtividade

da cana-planta e da 1ª cana-soca, através dos mecanismos de promoção do crescimento vegetal inerentes a tais bactérias empregadas.

O maior número de perfilhos e de colmos industrializáveis, maior biomassa e maior acúmulo de macro e micronutrientes, que estas duas combinações de bactérias proporcionaram, possivelmente contribuíram para o aumento da produtividade de colmos (TCH), tanto em cana-planta quanto em cana-soca.

Estudos tem demonstrado o aumento da produtividade de cana-de-açúcar em função da fertilização com fósforo (TSADO *et al.*, 2013; CAIONE *et al.*, 2015). Albuquerque *et al.* (2016) descreveram que a aplicação de fósforo no sulco de plantio, na forma de superfosfato triplo, até a dose 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumenta a produtividade de colmos da variedade RB92579.

Nessa mesma variedade, a produtividade média de colmos de cana-de-açúcar obtida no presente trabalho foi de 180,83 t ha⁻¹ para cana-planta e 149,97 t ha⁻¹ para cana-soca (Tabela 51). Calheiros *et al.* (2012) trabalhando com a mesma variedade (RB92579), cana planta, em função da adubação fosfatada, observaram que a maior produtividade de colmos foi cerca de 133 t kg ha⁻¹ quando aplicou-se 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Caione *et al.* (2015) relataram produtividade de colmos de 232 t ha⁻¹ quando aplicaram 180 kg ha⁻¹ P₂O₅ em cana planta variedade CTC 15. Schultz *et al.* (2014) encontraram produtividade média de colmos de 101,8 e 108,3 t ha⁻¹ para a cana planta das variedades RB72454 e RB867515 inoculadas com BPCPs.

O superfosfato triplo quando aplicado no sulco durante o plantio (100 kg ha⁻¹ P₂O₅) aumentou a produtividade da cana-de-açúcar em 34% quando comparada ao controle de aplicação zero (CAIONE *et al.*, 2013).

Trabalhando com quatro variedades de cana-de-açúcar, inclusive a RB92579, em Latossolo Amarelo Distrófico de textura média, com médio teor de P, Silva *et al.* (2018), relataram produtividades médias de colmos de 126 t ha⁻¹ para cana-planta e 102 t ha⁻¹ para 1ª cana-soca, quando fertilizaram com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na rebrota da soqueira, produtividades essas inferiores às encontradas no presente trabalho.

Tayade *et al.* (2019) relataram que, a produtividade da cana-soca pode ser significativamente melhorada com a aplicação de consórcios microbianos, manutenção dos restos culturais da cultura (palhada e ponteiros), adubação verde e uso balanceado de fertilizantes minerais.

Shukla *et al.* (2020), estudando a integração da adubação mineral NPK com um consórcio microbiano (contendo inclusive *Pseudomonas fluorescens*), afirmam que essa integração em cana-planta Cv. Co0238 melhorou a absorção de nutrientes, a eficiência agrônômica dos nutrientes aplicados, desencadeando em aumento da produtividade de colmos, de modo que, a redução de 50% dos fertilizantes aplicados aliado a esse consórcio foi mais vantajoso do que a aplicação somente da dose máxima (100%) sem o consórcio. Ambas as doses associadas ao consórcio microbiano elevaram as variáveis mencionadas, no entanto a dose 100% foi a que mais aumentou esses atributos da cana-de-açúcar.

Oliver e Silva (2018), trabalhando com uma mistura de bactérias diazotróficas contendo *Azospirillum*, observaram que a inoculação combinada a doses de 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, em cana soca, na mesma variedade do presente estudo (RB92579) propiciou o aumento da produtividade de colmos.

De acordo com Naiman *et al.* (2009), com a aplicação de 45 kg ha⁻¹ de N mais a inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* ou *Pseudomonas fluorescens* obtem-se incrementos de 9 e 10% na produtividade de grãos de trigo, respectivamente, em relação ao controle não inoculado adubado. Os autores ainda alegam que os agricultores poderiam utilizar a inoculação com alguma dessas BPCV para conquistar o mesmo aumento de produtividade de grãos de trigo alcançado com a aplicação de 45 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia.

Investigando algumas linhagens de *Bacillus* sp. (PS-12) e *Pseudomonas* sp. (PS-32 e PS-51), Hussain *et al.* (2013), observaram que a produtividade de grãos de milho era elevada em 11, 42 e 33%, respectivamente, quando comparado ao controle não inoculado. Rudresh, Shivaprakash e Prasad (2005), descreveram que plantas de grão de bico inoculadas com *Bacillus* sp. apresentam produtividade de grãos duas vezes maiores e maior concentração de P no grão.

Lavakush *et al.* (2014), trabalhando com arroz em casa de vegetação, relataram potencial de redução de 50% na adubação fosfatada da cultura, quando inoculada com bactérias solubilizadoras de P, dentre elas *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas* spp., pois as plantas inoculadas apresentaram desempenho semelhante em altura de planta, comprimento de panícula, número de grãos por panícula e produtividade de grãos quando adubadas com 30 e 60 kg ha⁻¹ P₂O₅.

Resultados semelhantes podem ser observados no presente trabalho (Tabela 52), visto que, na cana-planta, as inoculações com Pseud, Azo+Pseud e Bac+Pseud

associadas à dose 90 kg ha⁻¹ P₂O₅, e na cana-soca a maioria das inoculações dentro da dose 0 kg ha⁻¹ P₂O₅, apresentaram valores de produtividade de colmos semelhantes à dose máxima de 180 kg ha⁻¹ P₂O₅ sem inoculação (S.I), o que demonstra que esses microrganismos tem potencial para contribuir com a redução do uso de insumos, como fertilizantes fosfatados, na cultura da cana-de-açúcar.

Hassan *et al.* (2010) relataram duas cepas de *Bacillus* antagonicas ao fungo *Colletotrichum falcatum* para controle da podridão vermelha da cana-de-açúcar (*B. subtilis* NH-100 e *Bacillus* sp. NH-217). As cepas antagonicas do gênero *Bacillus* se destacam em relação a outros agentes de biocontrole, pois possuem esporulação excessiva, têm vida útil prolongada e melhoram a nutrição das plantas, além de sua eficiência no controle de doenças de plantas já ter sido comprovada por alguns estudos (HASSAN *et al.*, 2010; PATEL *et al.*, 2019). Características antipatogênicas dessas bactérias podem contribuir para o aumento de produtividade das culturas.

Ao estudar por três anos consecutivos a resposta de variedades de cana-de-açúcar à inoculação com cinco linhagens de bactérias diazotróficas promotoras de crescimento (incluindo *Azospirillum*), Schultz *et al.* (2014) observaram que, o aumento da produtividade da variedade de cana-de-açúcar RB72454 no primeiro e segundo ano (cana planta e 1ª cana soca) após inoculação com as bactérias foi similar a produtividade obtida através da adubação com 120 kg ha⁻¹ de N, demonstrando mais uma vez a economia que pode ser gerada através do emprego da inoculação da cana-de-açúcar com BPCPs.

Segundo Taulé *et al.* (2012), bactérias potencialmente fixadoras de N foram mais eficazes em promover o crescimento de cana-de-açúcar quando também eram solubilizadoras de fosfato e produtoras de ácido indol-acético. Nesse mesmo sentido Beneduzi *et al.* (2013) descreveram que, as bactérias solubilizadoras de fosfato e produtoras de ácido indol-acético na cana-de-açúcar, proporcionaram efeito benéfico na interação planta-bactéria.

A manifestação de características específicas de BPCPs indica que tais organismos podem promover o crescimento de plantas por mais de um mecanismo, dessa forma se faz crucial a caracterização de linhagens bacterianas adaptadas ao cultivo de cana-de-açúcar que sejam capazes de excretar substâncias que promovam o crescimento de plantas (BENEDUZI *et al.*, 2013).

5.12 INDICADORES DE QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

5.12.1 Fibra

A fibra é a matéria insolúvel em água contida na cana-de-açúcar, composta principalmente de celulose (FERNANDES, 2011). Em elevada porcentagem na cana é uma vantagem quando se considera sua queima para geração de energia na indústria. Também é importante para evitar danos mecânicos no corte e transporte, acamamento, quebra com o vento, o que favorece a contaminação e as perdas na indústria. Entretanto, quando em elevada quantidade, interfere na eficiência de extração da moenda (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Na cana-planta a fibra foi influenciada significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 53). Houve ajuste à função quadrática para inoculação com Azo até a dose de 94 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para Bac até a dose de 103 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para Azo+Bac até a dose de 94 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para Azo+Pseud até a dose de 101 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para Azo+Bac+Pseud até a dose de 77 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 28A). A associação Bac+Pseud e S.I se ajustaram a funções lineares crescentes, enquanto que para Pseud o ajuste foi linear decrescente.

Até a dose de 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , ao menos uma das sete inoculações estudadas foi superior à testemunha sem inoculação, para aumentar o teor de fibra da cana-planta (Tabela 54). Quando foram aplicados na cultura 45 e 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , a inoculação com Azo e com Azo+Bac, respectivamente, foram as que proporcionaram maiores valores para o teor de fibra da cana-planta, inclusive coincidindo o mesmo valor nestas duas inoculações.

A inoculação com Azo+Bac, estatisticamente conferiu os maiores teores de fibra à cana em todas as doses de fertilizante fosfatado, exceto na dose 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 54). A dose de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi a que beneficiou o maior número de inoculações (quatro), proporcionando maiores teores de fibra à cana nos tratamentos com Azo, Bac, Azo+Bac e Azo+Pseud.

Os valores de fibra, inclusive a média geral e os valores da maioria dos tratamentos, se encontram um pouco abaixo do intervalo relatado por Ripoli e Ripoli (2009) que é de 11 a 13%, entretanto, as inoculações com Azo na dose 45, Bac e Azo+Pseud na dose 90 e Azo+Bac na dose 90 e 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , apresentaram valores de fibra maiores que 11% (Tabela 54). Ressalta-se que é interessante que tais

valores não ultrapassem o valor máximo de 13% para que não haja interferência negativa no momento da extração do caldo.

A fibra da cana-soca, foi influenciada somente pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 (Tabela 53), ocorrendo ajuste a uma função quadrática até a dose de 65 kg ha^{-1} de P_2O_5 , independente das inoculações (Figura 29A). Nesse caso, a média geral e a maioria dos tratamentos apresentam valores superiores ao limite inferior recomendado por Ripoli e Ripoli (2009) para o teor de fibra (11%) (Tabela 53).

Tabela 53 - Fibra, POL do caldo, brix e pureza do caldo da cana-de-açúcar, variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P_2O_5 utilizadas.

	Fibra (%)		POL do caldo (%)		Brix (%)		Pureza (%)	
Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1}) †	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	10,19	11,10	16,27	16,34	19,57	19,12	81,58	85,47
45	10,58	11,18	16,84	16,86	20,16	19,59	82,12	86,01
90	10,77	11,22	16,05	17,16	20,34	19,56	81,28	87,76
135	10,59	11,01	16,18	16,22	20,15	18,99	81,03	85,32
180	10,41	10,77	16,72	16,20	19,59	18,85	82,84	85,97
Inoculação								
S.I.	10,45	11,13 a	16,40	16,69 a	19,89	19,34 a	82,27 a	86,25 a
Azo	10,65	11,24 a	17,08	16,55 a	19,86	19,17 a	83,72 a	86,24 a
Bac	10,48	11,04 a	16,21	16,58 a	19,74	19,09 a	81,21 a	86,84 a
Pseud	10,23	11,03 a	16,47	16,78 a	20,20	19,44 a	82,05 a	86,30 a
Azo + Bac	10,89	10,98 a	16,29	16,48 a	20,29	19,23 a	81,60 a	85,66 a
Azo + Pseud	10,43	10,87 a	16,06	16,65 a	19,82	19,27 a	81,85 a	86,43 a
Bac + Pseud	10,37	11,06 a	16,20	16,20 a	19,88	18,98 a	80,74 a	85,27 a
Azo + Bac + Pseud	10,58	11,09 a	16,58	16,53 a	20,03	19,26 a	80,72 a	85,86 a
Erro Padrão	0,07	0,10	0,09	0,27	0,09	0,24	0,86	0,77
Teste F								
Doses de P_2O_5 (D)	**	**	**	**	**	*	ns	ns
Inoculação (I)	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns
D x I	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns
C.V. (5%)	2,59	4,03	2,05	7,24	1,87	5,61	4,09	4,01
Média geral	10,51	11,06	16,41	16,56	19,96	19,22	81,77	86,11

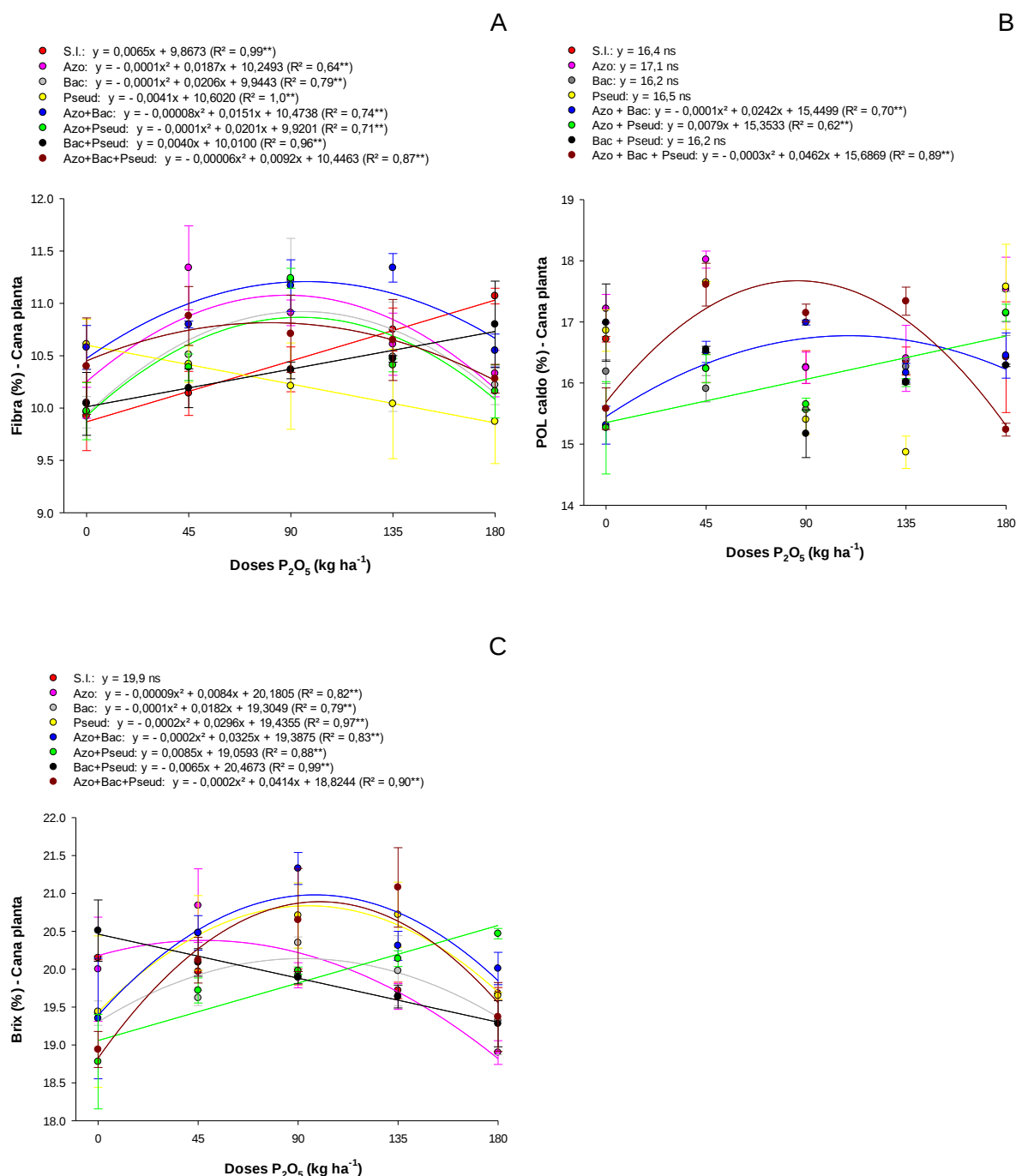
Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

† Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 28 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para fibra (A), POL do caldo (B) e brix (C), da cana-planta.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).

Fonte: Elaboração da própria autora.

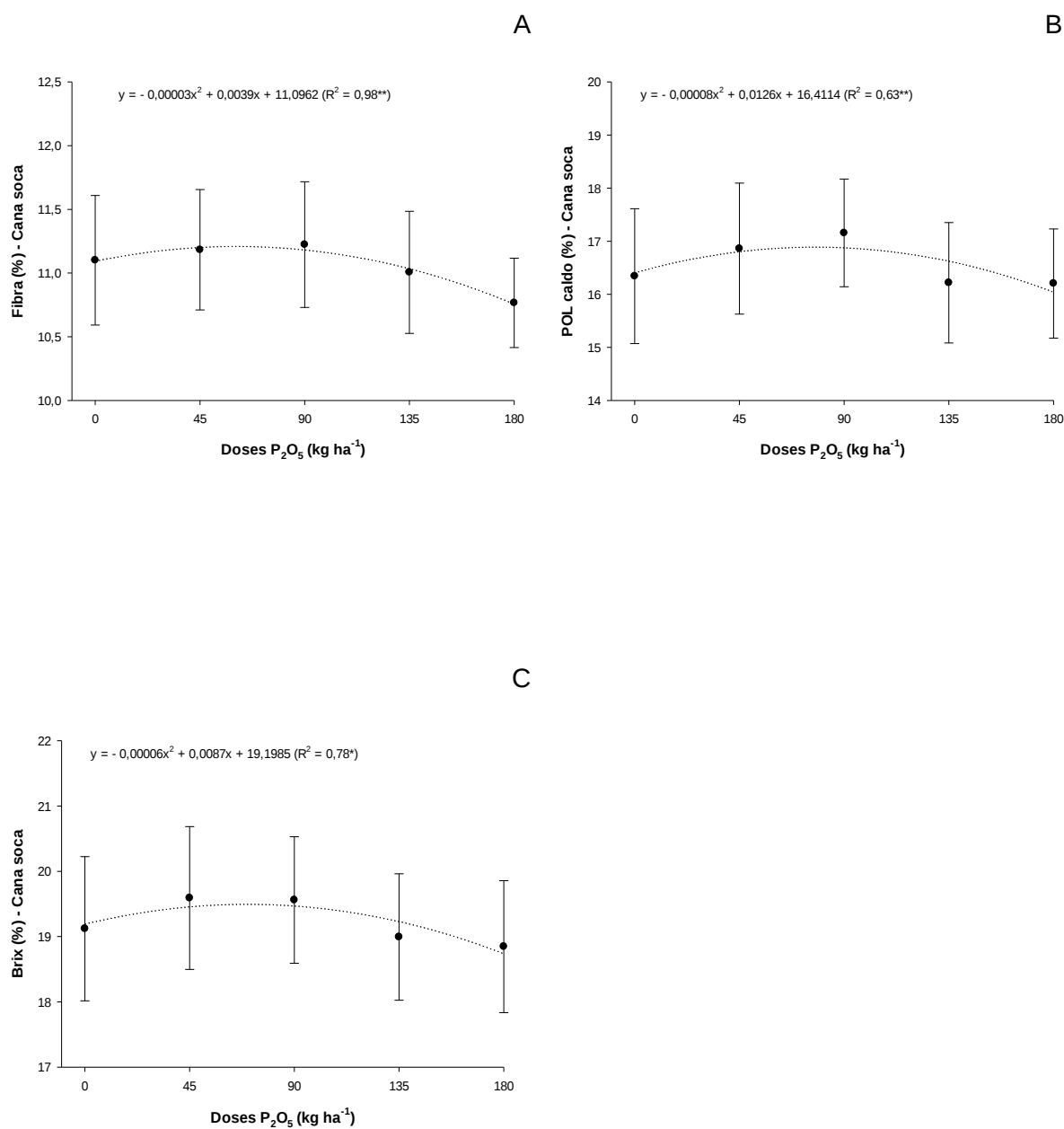
Tabela 54 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para fibra, pol do caldo (POL) e brix, da cana-planta.

Fibra (%) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	9,92 b	10,14 c	10,37 b	10,75 b	11,07 a
Azo	10,05 b	11,34 a	10,91 a	10,61 b	10,33 b
Bac	9,96 b	10,51 c	11,22 a	10,49 b	10,21 b
Pseud	10,61 a	10,42 c	10,21 b	10,04 b	9,87 b
Azo + Bac	10,58 a	10,80 b	11,17 a	11,34 a	10,55 a
Azo + Pseud	9,97 b	10,39 c	11,24 a	10,41 b	10,16 b
Bac + Pseud	10,04 b	10,19 c	10,36 b	10,47 b	10,80 a
Azo + Bac + Pseud	10,40 a	10,88 b	10,71 b	10,65 b	10,28 b
Erro padrão	0,16				
POL do caldo (%) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	16,72 a	16,24 b	16,26 b	16,36 b	16,42 b
Azo	17,22 a	18,02 a	16,25 b	16,40 b	17,53 a
Bac	16,19 b	15,91 b	15,56 c	16,27 b	17,14 a
Pseud	16,86 a	17,65 a	15,40 c	14,87 c	17,58 a
Azo + Bac	15,31 c	16,51 b	16,99 a	16,17 b	16,45 b
Azo + Pseud	15,27 c	16,23 b	15,65 c	16,01 b	17,15 a
Bac + Pseud	16,99 a	16,55 b	15,17 c	16,02 b	16,29 b
Azo + Bac + Pseud	15,58 c	17,61 a	17,15 a	17,34 a	15,24 c
Erro padrão	0,19				
Brix (%) Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	20,15 a	19,97 b	19,90 c	19,72 b	19,68 b
Azo	20,00 a	20,84 a	19,92 c	19,64 b	18,90 b
Bac	19,42 b	19,62 b	20,35 c	19,98 b	19,33 b
Pseud	19,44 b	20,48 a	20,71 b	20,72 a	19,65 b
Azo + Bac	19,35 b	20,48 a	21,33 a	20,31 b	20,01 a
Azo + Pseud	18,78 c	19,72 b	19,98 c	20,14 b	20,47 a
Bac + Pseud	20,51 a	20,09 b	19,89 c	19,64 b	19,28 b
Azo + Bac + Pseud	18,94 c	20,12 b	20,65 b	21,08 a	19,37 b
Erro padrão	0,22				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*).

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 29 - Efeito de doses de P_2O_5 , para fibra (A), POL do caldo (B) e brix (C), da cana-soca.



******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

5.12.2 POL do caldo (POL)

O POL do caldo representa toda a sacarose aparente contida no caldo da cana, de modo que, para a indústria, quanto mais elevados os valores de POL, melhor o rendimento industrial (SANTOS; QUEIROZ; RABELO, 2016).

Na cana-planta o POL do caldo foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 53). Ocorreram ajustes quadráticos para Azo+Bac até a dose 121 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e para Azo+Bac+Pseud até a dose 77 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 28B). Azo+Pseud se ajustou a uma função linear crescente, em que, à medida que se aumentam as doses de fósforo aplicadas a porcentagem de POL do caldo aumenta.

Em todas as doses, ao menos uma das inoculações influenciou nos teores de POL do caldo, sendo a inoculação com Azo associada a dose de 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 a que proporcionou maior valor de POL do caldo entre todos os tratamentos (18,02) (Tabela 54). Esse valor é superior ao indicado por Ripoli e Ripoli (2009) para esta variável (14%).

A cana-soca foi influenciada somente pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 , para o POL do caldo (Tabela 53), se ajustando a uma função quadrática até a dose 79 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 29B). A média geral observada nesse caso, também foi superior ao indicado pelos autores supracitados.

De acordo com Santos, Queiroz e Rabelo (2016), a cana imatura possui mais açúcares redutores, o que influencia negativamente neste indicador de qualidade tecnológica.

5.12.3 Brix

O brix expressa a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada impura, no caso, o caldo extraído da cana-de-açúcar (FERNANDES, 2011).

Na cana-planta o brix foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 53). O desdobramento da interação dos tratamentos foi ajustado às funções quadráticas para inoculação com Azo até a dose de 47 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para inoculação com Bac até a dose de 91 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para inoculação com Pseud até a dose de 74 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para inoculação com

Azo+Bac até a dose de 81 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para Azo+Bac+Pseud até a dose de 104 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 28C). Com o aumento das doses de P₂O₅, o Azo+Pseud e Bac+Pseud ajustaram-se à função linear crescente e decrescente, respectivamente.

Em todas as doses de P₂O₅, as inoculações (ao menos uma delas) foram superiores em % de brix à testemunha não inoculada, exceto quando não se aplicou fertilizante fosfatado (Tabela 54). Aplicando-se 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aliado a inoculação com Azo+Bac obteve-se o maior valor para porcentagem de brix. Esta inoculação também se destacou nas doses de 45 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a que beneficiou o maior número de inoculações (três - Azo, Pseud e Azo+Bac) em porcentagem de brix na cana-planta.

A inoculação com Bac+Pseud apresentou comportamento relevante, visto que à medida que se aumentou as doses de fósforo, o brix diminuiu, indicando que a redução da adubação fosfatada pode estar colaborando para a atuação das bactérias de forma a elevar os valores dessa variável (Figura 28C). Em contrapartida, a inoculação com Azo+Pseud não foi interessante para o brix, visto que houve incremento em função do aumento das doses de fósforo.

Para o brix da cana-soca, houve influência significativa apenas do efeito isolado de doses de P₂O₅ (Tabela 53), com ajuste quadrático até a dose de 73 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 29C).

O brix na prática, tem uma relação direta com o teor de açúcares do caldo e corresponde a 18-25% do total do mesmo (LAVANHOLI, 2010). O valor considerado ótimo para esta variável é de cerca de 18% (MARQUES; MARQUES; TASSO JÚNIOR, 2001), portanto todos os valores encontrados no presente trabalho estão dentro da faixa considerada adequada para % de brix (Tabela 53).

Os valores de brix foram semelhantes aos encontrados por Ferreira *et al.* (2018) para esta mesma variedade e por Atencio, Goebel e Guerra (2019), os quais testaram doses de N. Caione *et al.* (2015), estudando aplicação de doses crescentes de fertilizante fosfatado nas características produtivas da cana-de-açúcar, constataram que não houve efeito significativo da adubação fosfatada na concentração de sólidos solúveis do caldo (brix), obtendo o valor médio de 16,9%. Em contrapartida, Santos *et al.* (2011), avaliando a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com fosfato solúvel (superfosfato triplo), relataram incremento nos valores de brix com o aumento das doses de fosfato aplicadas, destacando a extrema importância do fósforo para a elevação da porcentagem de sólidos solúveis no caldo. Vasconcelos *et al.*

(2017) também verificaram influência da adubação mineral fosfatada no brix da cana, pois os teores de sólidos solúveis totais foram incrementados com a aplicação crescente de superfosfato triplo, de modo que a resposta foi quadrática com valor de brix de 18,4% a uma dose de 334 kg ha⁻¹ de P₂O₅, valor este muito acima das doses de P₂O₅ utilizadas no presente estudo.

5.12.4 Pureza do caldo

A pureza representa a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo que, quanto maior a pureza, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar o açúcar, logo se a matéria-prima possuir boa qualidade, a pureza do caldo deve ficar acima de 85% (SANTOS; QUEIROZ; RABELO, 2016). Esta é calculada a partir da determinação do POL do caldo e do Brix.

A pureza do caldo, tanto na cana-planta quanto na cana-soca, não foi influenciada pelas doses de P₂O₅ aplicadas e nem pelas inoculações com BPCPs, bem como, pelo efeito de suas interações (Tabela 53). Ainda assim, é possível perceber que, a inoculação com Azo na cana-planta apresentou o maior valor de pureza, que mesmo assim ficou abaixo do valor sugerido pelos autores supracitados (85%). Em contrapartida, na cana-soca, todos os tratamentos apresentaram valores acima deste limite inferior sugerido, sendo que na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi onde observou-se o maior dessa variável.

Oliver e Silva (2018), trabalhando com essa mesma variedade do presente estudo e uma mistura bacteriana contendo *Azospirillum*, também não encontraram efeito de inoculação na pureza do caldo da cana-de-açúcar, obtendo valor médio de 85,51% quando se inoculou.

Santos *et al.* (2011), aplicando doses de 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte: superfosfato triplo) em Argissolo Vermelho Distroférrico com médio teor de P, observaram pureza de cerca de 90 e 91% para a variedade RB867515.

Albuquerque *et al.* (2016), relataram que o fósforo aplicado no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo em Latossolo Amarelo Distrófico com baixo teor de P, melhorou a qualidade tecnológica da variedade RB92579, por meio do aumento da pureza, redução do teor de fibra, aumento do pol corrigido, do açúcar total recuperável e da produtividade de açúcar, além de elevar também a produtividade de colmos.

5.12.5 Pol da cana (PC)

O pol da cana (PC) diz respeito ao teor de sacarose aparente na cana, sendo que, a determinação do pol é o principal fator considerado na avaliação da qualidade de cana para pagamento (RIPOLI; RIPOLI, 2009). O PC é obtido através do POL do caldo e da fibra industrial da cana.

Na cana-planta o PC foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações com BPCPs (Tabela 55). Houve ajuste à função quadrática para inoculação com Pseud até a dose de 98 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para Azo+Bac até a dose de 124 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para Azo+Bac+Pseud até a dose de 61 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A inoculação com Azo+Pseud também se ajustou à função quadrática. Nas inoculações com Azo, Bac+Pseud e S.I foram observados ajustes lineares decrescentes, e com Bac ajuste linear crescente para doses de P_2O_5 (Figura 30A).

Nos tratamentos onde se aplicou superfosfato triplo, algumas das inoculações mostraram-se superiores à testemunha não inoculada, para pol da cana (Tabela 56). A inoculação com Pseud associada à dose 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 foi a que apresentou o maior valor de PC entre os tratamentos. Azo e Azo+Bac+Pseud propiciaram maiores pols da cana na dose 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

A inoculação com Azo+Pseud apresentou comportamento quadrático com ponto de mínimo (Figura 30A), possivelmente devido à maior porcentagem de fibra e maior produtividade de colmos obtidos, supondo-se que os fotoassimilados foram direcionados para o crescimento vegetativo da planta e não para o acúmulo de sacarose.

Na cana-soca, o PC foi influenciado significativamente apenas pelo efeito isolado de doses de P_2O_5 (Tabela 55), com ajuste quadrático até a dose de 82 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 31A). Ainda assim é possível observar que, o maior valor para esse ciclo da cana-de-açúcar foi obtido com a aplicação de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , independente da inoculação utilizada.

O PC da maioria dos tratamentos desse estudo, tanto para cana-planta quanto para cana-soca, está de acordo com o recomendado por Ripoli e Ripoli (2009) que é superior à 14% (Tabela 55). Os menores valores de pol da cana entre os tratamentos, se aproximaram muito do valor sugerido, e as médias gerais dos dois ciclos ficaram acima desse limite.

Tabela 55 - Pol da cana (PC), açúcares redutores do caldo (AR), açúcares totais recuperáveis da cana (ATR) e produtividade de açúcar (TAH) da variedade RB92579, em função de inoculações e doses de P₂O₅ utilizadas.

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †	PC (%)		AR caldo (%)		ATR (kg açúcar t ⁻¹ cana)		TAH (t ha ⁻¹)	
	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca	Cana-planta	Cana-soca
0	14,15	14,06	0,84	0,71	142,62	139,41	24,80	19,69
45	14,53	14,48	0,82	0,69	145,20	143,31	25,80	21,89
90	14,31	14,72	0,85	0,63	140,41	145,16	25,78	23,45
135	14,33	13,97	0,86	0,71	140,95	138,66	25,96	21,85
180	13,96	14,02	0,80	0,69	143,99	138,95	26,41	20,10
Inoculação								
S.I.	14,27	14,34 a	0,82 a	0,68 a	142,51	141,96 a	23,85	20,42
Azo	14,29	14,19 a	0,77 a	0,68 a	145,26	140,53 a	25,41	21,11
Bac	13,91	14,27 a	0,86 a	0,66 a	140,60	141,10 a	24,55	20,79
Pseud	14,71	14,44 a	0,83 a	0,68 a	143,37	142,90 a	27,42	22,53
Azo + Bac	14,13	14,20 a	0,84 a	0,70 a	140,70	140,76 a	26,19	21,14
Azo + Pseud	14,35	14,38 a	0,83 a	0,68 a	142,14	142,23 a	27,13	22,37
Bac + Pseud	14,20	13,94 a	0,87 a	0,72 a	142,62	138,40 a	27,77	22,64
Azo + Bac + Pseud	14,18	14,22 a	0,87 a	0,70 a	143,87	140,91 a	23,68	20,17
Erro Padrão	0,12	0,23	0,03	0,03	0,49	2,06	0,75	0,71
Teste F								
Doses de P ₂ O ₅ (D)	**	*	ns	ns	**	*	ns	**
Inoculação (I)	**	ns	ns	ns	**	ns	**	ns
D x I	**	ns	ns	ns	**	ns	**	**
C.V. (5%)	3,23	7,19	13,70	17,27	1,33	6,52	13,10	14,92
Média geral	14,25	14,25	0,84	0,69	142,63	141,10	25,75	21,40

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). C.V.: coeficiente de variação.

† Doses de P₂O₅ aplicadas somente no ciclo da cana-planta.

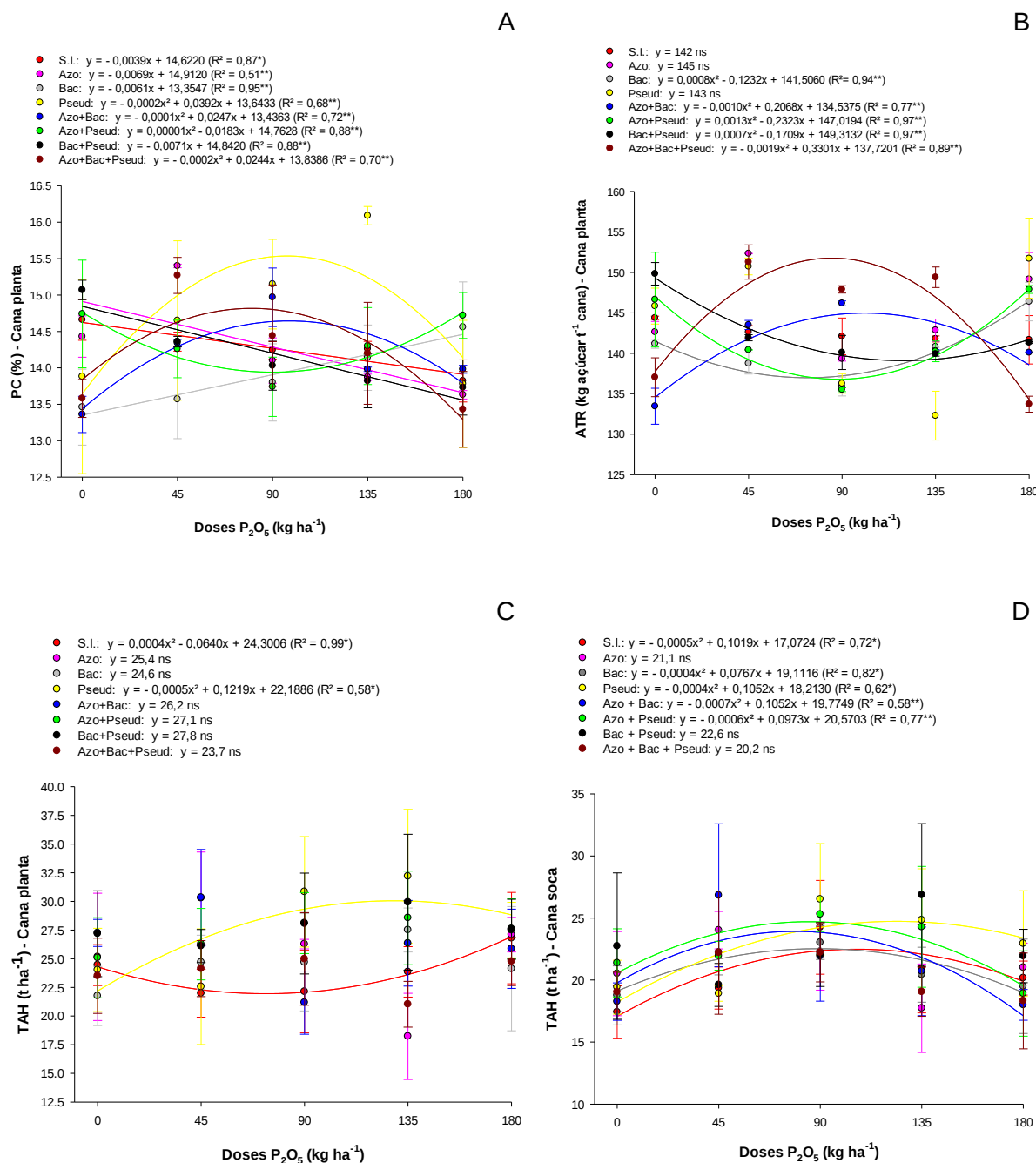
Fonte: Elaboração da própria autora.

Diferente do que ocorreu no presente estudo, Santos *et al.* (2011) trabalhando com aplicação de superfosfato triplo na variedade RB867515, relataram não haver efeito significativo das doses de fertilizante fosfatado no pol da cana, embora este tenha se elevado com o aumento das doses de P. O mesmo foi observado por Caione *et al.* (2015) na variedade de cana-de-açúcar CTC 15, obtendo teor médio de sacarose de 14,3%.

Investigando a interação da inoculação com um coquetel de bactérias diazotróficas (no qual o gênero *Azospirillum* se encontrava presente) e doses de N, Oliver e Silva (2018) não observaram efeito de nenhuma das fontes de variação no

acúmulo de sacarose da cana (pol), obtendo valores de 15,26 a 15,77% para a variedade RB92579.

Figura 30 - Desdobramento da interação de doses de P_2O_5 dentro de inoculações, para pol da cana-planta (PC) (A), açúcares totais recuperáveis da cana-planta (ATR) (B), e produtividade de açúcar (TAH) da cana-planta (C) e TAH da cana-soca (D).



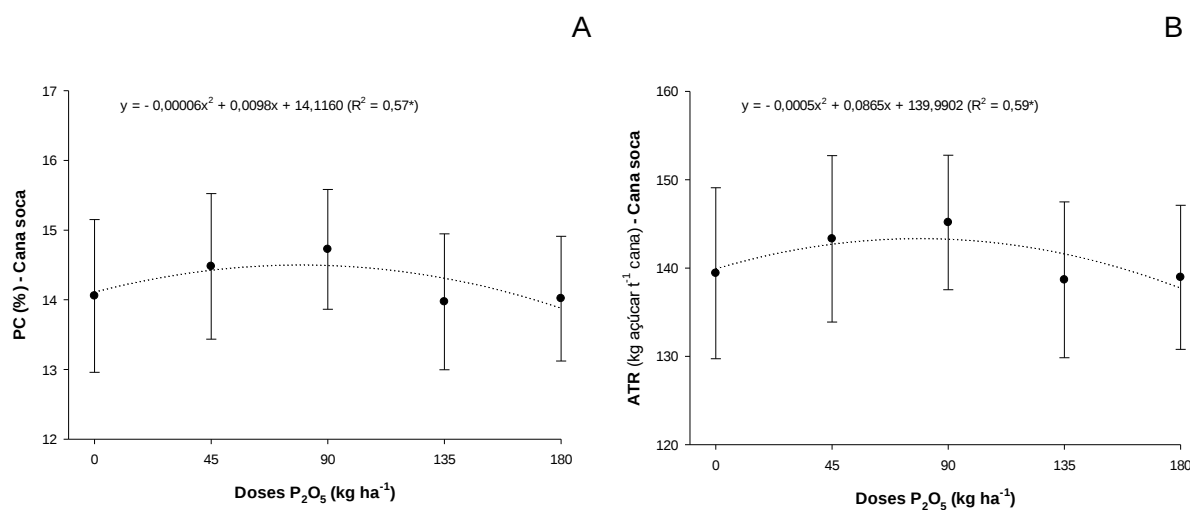
******, ***** e **ns**: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

Tabela 56 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para pol da cana (PC) e açúcares totais recuperáveis da cana (ATR).

PC (%) - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	14,66 a	14,36 b	14,24 b	14,26 b	13,82 b
Azo	14,43 a	15,40 a	14,10 b	13,87 b	13,63 b
Bac	13,46 b	13,57 b	13,81 b	14,14 b	14,56 a
Pseud	13,88 b	14,65 b	15,15 a	16,10 a	13,78 b
Azo + Bac	13,36 b	14,34 b	14,97 a	13,98 b	13,98 b
Azo + Pseud	14,74 a	14,26 b	13,74 b	14,30 b	14,72 a
Bac + Pseud	15,07 a	14,36 b	14,03 b	13,82 b	13,73 b
Azo + Bac + Pseud	13,58 b	15,27 a	14,44 b	14,20 b	13,43 b
Erro padrão	0,27				
ATR (kg açúcar t ⁻¹ cana) - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	144,38 c	142,63 b	142,10 b	141,78 b	141,68 c
Azo	142,64 c	152,33 a	139,33 c	142,86 b	149,15 b
Bac	141,18 c	138,75 c	135,90 d	140,81 b	146,39 b
Pseud	145,84 b	150,74 a	136,27 d	132,29 c	151,71 a
Azo + Bac	133,45 e	143,51 b	146,18 a	140,28 b	140,10 c
Azo + Pseud	146,64 b	140,43 c	135,50 d	140,24 b	147,89 b
Bac + Pseud	149,83 a	141,92 b	140,10 c	139,93 b	141,33 c
Azo + Bac + Pseud	137,04 d	151,29 a	147,90 a	149,40 a	133,71 d
Erro padrão	1,09				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 31 - Efeito de doses de P_2O_5 , para pol da cana (PC) (A) e açúcares totais recuperáveis (ATR) (B), da cana-soca.



**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente. As barras de erro indicam o desvio padrão. † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta. Fonte: Elaboração da própria autora.

5.12.6 Açúcares redutores do caldo (AR)

Os açúcares redutores (AR) representam a quantidade de glicose e de frutose presentes na cana, afetando diretamente a sua pureza, uma vez que levam à menor eficiência na recuperação da sacarose pela indústria, contudo os açúcares redutores não interferem na produção de etanol, posto que, eles conseguem ser metabolizados pela levedura (SANTOS; QUEIROZ; RABELO, 2016). Os valores recomendados por Ripoli e Ripoli (2009) para essa variável são valores menores que 0,8%.

Em cana-planta e cana-soca, os açúcares redutores (AR) não foram influenciados pelas doses de P_2O_5 aplicadas e nem pelas inoculações com BPCPs, tal como, pelo efeito de suas interações (Tabela 55). Embora seja possível inferir que, na cana-planta, entre todos os tratamentos apenas a inoculação com Azo, independente da dose de P_2O_5 aplicada, proporcionou AR menor do que o limite máximo estipulado por Ripoli e Ripoli (2004). Contudo, na cana-soca todos os valores ficaram abaixo desse limite, e a dose de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 apresentou o menor valor de AR entre todos os tratamentos (0,63%).

Dinardo-Miranda *et al.* (2012) obtiveram valores médios de AR de 0,45% para três variedades cultivadas no estado de São Paulo (cana-planta e cana-soca). Simões *et al.* (2015), trabalhando com a mesma variedade do presente estudo, relatou valores de 0,64% para cana-planta e 0,75% para cana-soca.

5.12.7 ATR (açúcar total recuperável)

O ATR (açúcar total recuperável) constitui um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado no estado de São Paulo a partir da safra 1998/99, e representa a quantidade de açúcares, na forma de açúcares invertidos ou açúcares redutores totais (ART) que são recuperados na usina, da cana até o xarope, admitindo-se perdas na extração, torta dos filtros/prensas e perdas indeterminadas (FERNANDES, 2011). Sendo assim, o ATR da cana-de-açúcar representa a capacidade de converter a matéria-prima em açúcar ou etanol, por intermédio dos coeficientes de transformação de cada unidade de produção (CONAB, 2021).

Na cana-planta o ATR foi influenciado significativamente pelo efeito da interação entre doses de P_2O_5 e inoculações (Tabela 55). Notou-se ajuste a funções

quadráticas para Bac, Azo+Pseud, Bac+Pseud, para Azo+Bac até a dose de 103 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e para Azo+Bac+Pseud até a dose de 87 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 30B).

A dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associada à inoculação com Azo conferiu o maior valor de ATR à cana, demonstrando-se 6% maior que a testemunha S.I na mesma dose (Tabela 56), o que permite inferir que tal bactéria foi beneficiada por esta baixa dose de fertilizante fosfatado, possibilitando-a atuar na liberação de compostos que auxiliaram na qualidade industrial do caldo dessa variedade de cana.

A combinação tripla de bactérias (Azo+Bac+Pseud) proporcionou nas doses de 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ elevados valores de ATR quando comparados à testemunha S.I e às outras inoculações nestas mesmas doses. Todavia, na dose de 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, essa inoculação proporcionou o menor valor de ATR à cana, podendo ter sido a combinação de bactérias prejudicada pela alta dose do adubo fosfatado (Tabela 56).

Vale destacar que a dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a que beneficiou o maior número de inoculações (três), sendo estas Azo, Pseud e Azo+Bac+Pseud, apresentando estatisticamente maiores valores de ATR à cana-planta (Tabela 56).

O comportamento de efeito quadrático com ponto de mínimo para ATR na inoculação com Azo+Pseud (Figura 30B) provavelmente foi devido à redução no PC (Figura 30A), visto que, a primeira variável é diretamente dependente da segunda. Na inoculação com Bac, o menor ATR (ponto de mínimo) (Figura 30B) possivelmente foi resultado dos altos valores de fibra (Figura 28A) e produtividade de colmos (Figura 27A), ocasionando um efeito de diluição na primeira variável. A inoculação com Bac+Pseud promoveu comportamento de ponto de mínimo ao ATR (Figura 30B) provavelmente devido a combinação dos efeitos anteriores (maior fibra, maior produtividade de colmos, menor PC, e consequentemente, menor ATR).

O ATR da cana-soca, foi influenciado significativamente somente pelo efeito isolado de doses de P₂O₅ (Tabela 55), ocorrendo ajuste quadrático até a dose de 87 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 31B). É possível relatar que, o maior valor de ATR ocorreu para a dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (145,16 kg açúcar t⁻¹ cana – sendo 4% superior a dose 0), possivelmente influenciado pelo maior valor de PC que também ocorreu nessa mesma dose (Tabela 55).

O ATR médio obtido no presente estudo foi de 142,63 kg açúcar t⁻¹ cana para cana-planta, e 141,10 kg açúcar t⁻¹ cana para cana-soca (Tabela 55).

Albuquerque *et al.* (2016) em Latossolo Amarelo Distrófico de textura média e baixo teor de P, observaram que o aumento das doses de fertilizante fosfatado no sulco de plantio da variedade RB92579, também promoveu uma resposta quadrática, cujo maior teor de ATR (161,6 kg açúcar t⁻¹ cana) foi obtido com a dose de 114 kg ha⁻¹ de P₂O₅, valor este um pouco superior em relação aos obtidos no presente estudo.

Estudando a aplicação de um coquetel de bactérias (inclusive contendo *Azospirillum*) em função da adubação nitrogenada também na variedade de cana-de-açúcar RB92579, Dellabiglia *et al.* (2018) relataram valores de 145,97 a 166,95 kg açúcar t⁻¹ cana para os açúcares totais recuperáveis e, constataram que o aumento de doses de N promoveu redução no ATR, o que pode ter se dado devido ao aumento do crescimento vegetativo das plantas.

Trabalhando com essa mesma variedade e nessa mesma linha de pesquisa, Oliver e Silva (2018) não observaram efeito significativo de doses de N e tampouco da inoculação testada (mistura de bactérias isoladas da rizosfera de cana-de-açúcar, também contendo *Azospirillum*), obtendo valores de 154,16 a 158,11 kg açúcar t⁻¹ cana para o ATR, valores estes próximos aos obtidos no presente estudo (Tabela 55).

5.12.8 Produtividade de açúcar (TAH)

A produtividade de açúcar ou toneladas de açúcar por hectare (TAH), foi influenciada pelo efeito da interação entre doses de P₂O₅ e inoculações com BPCPs em ambos os ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca) (Tabela 55).

Na cana-planta, ocorreram ajustes para S.I e para Pseud, ambos a funções quadráticas, este segundo até a dose de 122 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com produtividade máxima estimada de açúcar de 29,6 t ha⁻¹ (Figura 30C).

O que ocorreu com a produtividade de açúcar da cana-planta foi semelhante ao verificado para a produtividade de colmos, visto que a maior e a menor dose de fósforo não influenciaram as inoculações, e foram as doses intermediárias (45, 90 e 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅) que potencializaram o efeito das inoculações com as BPCPs, exceto pela inoculação tripla que não diferiu da testemunha em nenhuma das doses (Tabela 57).

Tabela 57 - Desdobramento da interação de inoculações dentro de doses de P_2O_5 , para produtividade de açúcar (TAH) da cana-planta e cana-soca.

TAH (t ha ⁻¹) - Cana-planta					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				
	0	45	90	135	180
S.I.	24,45 a	21,99 b	22,14 b	23,85 b	26,80 a
Azo	25,16 a	30,29 a	26,28 a	18,23 b	27,10 a
Bac	21,75 a	24,69 b	24,69 b	27,51 a	24,13 a
Pseud	24,02 a	22,56 b	30,84 a	32,19 a	27,50 a
Azo + Bac	27,25 a	30,33 a	21,17 b	26,35 a	25,87 a
Azo + Pseud	25,08 a	26,27 b	28,11 a	28,56 a	27,61 a
Bac + Pseud	27,18 a	26,11 b	28,07 a	29,93 a	27,57 a
Azo + Bac + Pseud	23,51 a	24,14 b	24,98 b	21,03 b	24,76 a
Erro padrão	1,69				
TAH (t ha ⁻¹) - Cana-soca					
Inoculação	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) †				
	0	45	90	135	180
S.I.	17,42 a	19,36 b	24,25 a	20,91 b	20,16 a
Azo	20,52 a	24,02 a	22,29 a	17,73 b	21,01 a
Bac	18,76 a	22,23 b	23,02 a	20,43 b	19,50 a
Pseud	19,43 a	18,91 b	26,51 a	24,84 a	22,94 a
Azo + Bac	18,26 a	26,83 a	21,93 a	20,71 b	18,00 a
Azo + Pseud	21,39 a	21,96 b	25,30 a	24,29 a	18,92 a
Bac + Pseud	22,74 a	19,61 b	22,06 a	26,86 a	21,94 a
Azo + Bac + Pseud	19,03 a	22,21 b	22,24 a	19,06 b	18,32 a
Erro padrão	1,60				

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*); Azo + Bac (*A. brasilense* + *B. subtilis*); Azo + Pseud (*A. brasilense* + *P. fluorescens*); Bac + Pseud (*B. subtilis* + *P. fluorescens*); Azo + Bac + Pseud (*A. brasilense* + *B. subtilis* + *P. fluorescens*). † Doses de P_2O_5 aplicadas somente no ciclo da cana-planta.
Fonte: Elaboração da própria autora.

A inoculação com Pseud associada a 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 foi o tratamento que conferiu maior produtividade de açúcar a cana-planta (32,19 t ha⁻¹), sendo esta 35% (8,3 t ha⁻¹) superior à testemunha S.I na mesma dose (Tabela 57). As inoculações com Azo e Azo+Bac na dose 45 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , e Pseud na dose de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 também apresentaram valores aproximados ao do tratamento de maior produtividade de açúcar, com diferença média de apenas 1,06 t ha⁻¹.

A dose de 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , em relação às outras doses, foi a que possibilitou interferência positiva de um maior número de inoculações na variável produtividade de açúcar (Tabela 57). Tal fato ocorreu nesta dose para esta variável, devido à forte influência da produtividade de colmos, pois as diferenças estatísticas praticamente se repetiram quando foi aplicado 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

A inoculação com Azo e com a combinação tripla de bactérias (Azo+Bac+Pseud) na dose 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ propiciaram redução da produtividade de colmos e de açúcar da variedade estudada (Tabela 57), o que neste segundo caso pode ter se dado devido à competitividade entre estas bactérias quando inoculadas ou atuando conjuntamente de forma antagônica.

Para cana-soca, houve ajuste a funções quadráticas sendo para S.I. até a dose de 102 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Bac até 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pseud até 132 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Azo+Bac até 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Pseud até 81 kg ha⁻¹ de P₂O₅, resultando em produtividades máximas estimadas de açúcar de 22, 23, 25, 24 e 25 t ha⁻¹, respectivamente, se fossem aplicadas essas doses (Figura 30D).

Semelhante ao que ocorreu em cana-planta, a produtividade de açúcar da cana-soca também não foi influenciada pelas inoculações nas doses 0 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dessa vez também na dose 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não houve interferência das mesmas (Tabela 57). Somente as doses de 45 e 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram influenciadas pelas inoculações. Os maiores valores de produtividade de açúcar (26,83 t ha⁻¹) foram observados com a inoculação de Bac+Pseud associada a dose de 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Bac associada a dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, incrementando em 28 e 39% (6,0 e 7,5 t ha⁻¹) esta variável, respectivamente, quando comparada a testemunha S.I. na mesma dose. Os tratamentos Azo associado à 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Pseud associado à 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e Azo+Pseud associado à 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ também promoveram aumento da produtividade de açúcar na cana-soca, porém, apresentando valores inferiores ao do tratamento que se destacou entre todos (Azo+Bac com 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅).

A produtividade de açúcar é uma variável que é diretamente influenciada pela produtividade de colmos e pelo PC, pois ambos são utilizados para seu cálculo.

Diferentemente do que ocorreu no presente estudo, Gava *et al.* (2018) verificaram que não houve efeito da inoculação na produtividade de açúcar e de colmos da variedade SP80-3280, quando estudou a aplicação de bactérias diazotróficas (inclusive do gênero *Azospirillum*) associadas a doses de fertilizante nitrogenado em Latossolo Vermelho, manifestando resposta somente das doses de N, de modo que, o incremento nessas duas variáveis foi diretamente proporcional ao aumento das doses de N.

Dellabiglia *et al.* (2018) também não constatarem aumento de produtividade de açúcar e de colmos com a aplicação de um coquetel de bactérias diazotróficas

(contendo *Azospirillum*) na variedade RB92579, em Latossolo Vermelho. Em contrapartida, Oliver e Silva (2018) trabalhando também com uma mistura de bactérias diazotróficas contendo *Azospirillum*, relataram que a utilização do inoculante associado a doses de 60 e 90 kg ha⁻¹ de N promoveu aumento na produtividade de colmos, matéria seca, acúmulo de N e eficiência da adubação nitrogenada, nessa mesma variedade RB92579. Dessa forma, é possível inferir que o sucesso da inoculação depende muito das condições edafoclimáticas (solo, umidade, temperatura), da estirpe a ser utilizada, de sua eficiência e especificidade com o genótipo da planta.

Em Latossolo Vermelho, Albuquerque *et al.* (2016) relataram que a aplicação de doses de fósforo (superfosfato triplo) no sulco de plantio promoveu incremento na produtividade de açúcar e de colmos, da variedade RB92579. Do mesmo modo, Santos *et al.* (2011) também indicaram que o fósforo aplicado no sulco de plantio aumentou a produtividade de açúcar da RB867515 cultivada em Argissolo Vermelho Distroférico, demonstrando a importância da adubação fosfatada para aumento de produtividade e melhora na qualidade industrial da cana-de-açúcar.

No presente trabalho, reduzindo-se as doses de fertilizante fosfatado aplicadas no plantio da cultura associando a inoculação com as bactérias benéficas descritas e ainda aproveitando-se do residual dessa adubação fosfatada para a cana-soca, foi possível obter elevadas produtividades de colmos e de açúcar com a variedade RB92579, em um solo com baixo teor de P, o que se explica possivelmente devido ao efeito promotor do crescimento e solubilizador de fosfato dessas bactérias (principalmente do *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescences*), e também as condições climáticas que foram adequadas para o desenvolvimento da cultura. Um outro motivo para explicar esse resultado, pode ser devido à atividade antipatogênica desses microrganismos. Entre as bactérias que possuem atividade antimicrobiana contra fitopatógenos, *Bacillus* e *Pseudomonas* estão entre os gêneros mais relatados, pois tais endofíticos tem demonstrado capacidade de proteger plantas hospedeiras usando primers de defesa por resistência sistêmica induzida (RSI), por vias de sinalização interconectadas envolvidas nesse processo (AFZAL *et al.* 2019). Dessa forma, no presente estudo, as maiores produtividades obtidas com as inoculações em que algumas destas bactérias estavam presentes pode estar relacionada a esses fatos. Foi verificada atividade contra nematóides por *Bacillus megaterium* (ARAVIND *et al.* 2009), e efeito de *Pseudomonas fluorescens* contra pragas de plantas como a

broca-da-cana de açúcar (*Eldana saccharina*) (DOWNING; LESLIE; THOMSON, 2000).

Além do que, as BPCPs também podem aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas através da solubilização de fosfatos por meio de mecanismos como acidificação, quelação, produção de ácidos orgânicos, secretando fosfatase ácida que mineraliza o P-orgânico. Podem também prevenir a adsorção de P sob condições limitantes desse nutriente, assimilando o fósforo solubilizado, dessa forma, esses microrganismos podem agir como um reservatório, fornecendo fósforo às plantas à medida que estas demandarem (AFZAL *et al.* 2019).

Spaepen *et al.* (2014), trabalhando com *Arabidopsis thaliana* citaram que a inoculação com *A. brasilense*, bactéria produtora de auxinas, poderia proporcionar efeito similar à aplicação de ácido indol-acético no sistema radicular das plantas, hormônio este que é responsável pelo alongamento celular e crescimento das plantas.

Desse modo, tais microrganismos propiciam maior desenvolvimento do sistema radicular, permitindo a planta explorar maior volume de solo, absorver maior quantidade de água e nutrientes, desde que esses sejam fornecidos corretamente, assim demonstrando maior vigor, crescimento e produtividade.

Além de ser cultivada na sua maioria em preparo convencional (com revolvimento do solo) e em áreas de baixa fertilidade, a cana-de-açúcar é uma cultura que permanece por longos períodos nas áreas agrícolas, sendo que, muitas vezes a restituição dos nutrientes que são exportados através dos colmos não é realizada de maneira adequada, tornando-se comum o retalhamento desse tipo de lavoura. Entretanto com a criação de práticas mais conservacionistas, avanço/expansão da agricultura tecnificada e alternativas de cultivo mais sustentáveis, em substituição à agricultura de elevado impacto ambiental, é possível reverter esse cenário e conceito ruim do cultivo de cana-de-açúcar. A utilização de microrganismos como as BPCPs como alternativa para reduzir os gastos com insumos e impacto ambiental, aumentar a eficiência das adubações e promover maiores produtividades é o que esse estudo veio demonstrar.

5.13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Solo:

As inoculações com BPCPs e doses de P_2O_5 aplicadas em sulco de plantio influenciam positivamente os atributos químicos do solo.

Azospirillum brasilense + *Pseudomonas fluorescens* associada a dose 135 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* na dose 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aumentaram o teor de P disponível no solo, na cana-planta e 1ª cana-soca.

No geral, *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* foram as inoculações responsáveis por melhorar/incrementar um maior número de atributos químicos do solo.

O teor de P total do solo aumentou com as inoculações de *Pseudomonas fluorescens* na ausência de adubação fosfatada ou associada a dose 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e também com *Bacillus subtilis* associada a esta última dose.

Nutrição:

O acúmulo de nutrientes na cana-planta variedade RB92579 inoculada com BPCPs e adubada com fósforo, apresentou a seguinte ordem decrescente para a palhada (ponteiro + folhas) $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$, para os colmos (exportação) $K > N > S > Mg > Ca > P > Fe > Mn > B > Zn > Cu$, e total (parte aérea: colmo + palhada) $K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Mn > B > Zn > Cu$.

Na 1ª cana-soca variedade RB92579 inoculada com BPCPs e sob residual da adubação fosfatada do plantio do ciclo anterior, o acúmulo de nutrientes apresentou a seguinte ordem decrescente para palhada (ponteiro + folhas) $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$, para os colmos (exportação) $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$, e total (parte aérea: colmo + palhada) $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$.

As coinoculações de *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens*, contribuíram para aumentar o acúmulo de um maior número de nutrientes na palhada, colmos e total (parte aérea) da cana-de-açúcar em ambos os ciclos.

Biometria e Produtividade:

As coinoculações com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* na dose 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* nas doses 0 e 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentaram a massa seca de colmos e total da variedade de cana-de-açúcar RB92579.

A coinoculação com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* associada a dose 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumentou o número de perfilhos e colmos industrializáveis por metro, bem como a produtividade de colmos, esta última em 38% para cana-planta e 34% para cana-soca. *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* aliada a dose 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ também promoveu aumento dessas variáveis, com incrementos na produtividade de colmos de 31% para cana-planta e 23% para cana-soca.

A produtividade de colmos da cana-planta, ajustou-se a funções quadráticas para inoculação de *Bacillus subtilis* até a dose de 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* até a dose de 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A inoculação com *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* e a testemunha sem inoculação se ajustaram a funções lineares crescentes. *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* não se ajustaram a nenhum modelo com o incremento das doses de fósforo.

Para a produtividade de colmos da cana-soca, houve ajuste a funções quadráticas para *Bacillus subtilis* até a dose de 89 kg ha⁻¹ de P₂O₅, *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* até a dose de 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅, *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* até a dose de 88 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e testemunha sem inoculação até a dose de 114 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* não se ajustaram a nenhum modelo com o aumento das doses de fósforo.

Variáveis tecnológicas:

A combinação de *Azospirillum brasilense* mais aplicação de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a que promoveu melhor qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar.

Na ausência de fertilizante fosfatado e na maior dose de P₂O₅ (180 kg ha⁻¹), as produtividades de colmos (TCH) da cana-planta e produtividade de açúcar (TAH) da cana-planta e cana-soca, não foram influenciadas positivamente pela inoculação com

as BPCPs, isoladamente ou combinadas entre si, demonstrando que os extremos foram prejudiciais para obtenção de resultados satisfatórios.

A coinoculação com *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* na dose 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumentou a produtividade de açúcar (TAH) em ambos os ciclos produtivos da cana-de-açúcar.

6 CONCLUSÕES

A inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas, principalmente as coinoculações duplas associadas a adubação fosfatada, proporcionam efeitos positivos, porém variados sobre os atributos químicos do solo, nutrição de plantas, produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. Contudo, existe a necessidade de se avaliar os efeitos dos tratamentos na longevidade do canavial, até a reforma do mesmo.

Recomenda-se a coinoculação de *Azospirillum brasilense* + *Bacillus subtilis* associada a dose de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio da cana-de-açúcar, visto que, esse tratamento incrementa as produtividades de colmos e de açúcar da cana-planta e 1ª cana-soca da variedade RB92579, em um solo de textura média-arenosa com baixo teor de P. Portanto, obtém-se uma economia de 75% da dose recomendada de fósforo, podendo assim, ser uma alternativa eficiente e sustentável para reduzir os custos de produção da cultura da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ADESEMOYE, A. O.; OBINI, M.; UGOJI, E. O. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. **Brazilian Journal of Microbiology**, New York, v. 39, n. 3, p. 423-426, 2008.
- AFZAL, I.; SHINWARI, Z. K.; SIKANDAR, S.; SHAHZAD, S. Plant beneficial endophytic bacteria: mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. **Microbiological Research**, Munich, v. 221, p. 36-49, 2019.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SÁ, L. A.; RODRIGUES, W. A. R.; MOURA, A. B.; FILHO, M. S. O. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em função de doses e formas de aplicação de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 29-35, 2016.
- ALMETHYEB, M.; RUPPEL, S.; PAULSEN, H. M.; VASSILEV, N.; EICHLER-LOBERMANN, B. Single and combined applications of arbuscular mycorrhizal fungi and *Enterobacter radicincitans* affect nutrient uptake of faba bean and soil biological characteristics. **Applied Agriculture and Forestry Research**, London, v. 63, n. 3, p. 229-234, 2013.
- ALORI, E. T.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, e. 971, p. 1-8, 2017.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2021. Disponível em: <<http://anda.org.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- ANDRADE SILVA, A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 240-250, 2012.
- ARAUJO, F. F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostra e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavas, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.
- ARAVIND, R.; KUMAR, A.; EAPEN, S.; RAMANA, K. Endophytic bacterial flora in root and stem tissues of black pepper (*Piper nigrum* L.) genotype: isolation, identification and evaluation against *Phytophthora capsici*. **Letters in Applied Microbiology**, Hoboken, v. 48, n. 1, p. 58-64, 2009.
- ATENCIO, R.; GOEBEL, F. R.; GUERRA, A. Effect of silicon and nitrogen on *Diatraea tabernella* dyar in sugarcane in Panama. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 21, n. 1, p. 113-121, 2019.

AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Diversity and applications of endophytic fungi isolated from tropical plants. In: GANGULI, B. N.; DESHMUKH, S. K. (Org.). **Fungi: multifaceted microbes**. Boca Raton: CRC Press, p.189-207, 2007.

BAKHSHANDEH, E.; PIRDASHTI, H.; GILANI, Z. Application of mathematical models to describe rice growth and nutrients uptake in the presence of plant growth promoting microorganisms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 124, p. 171-184, 2018.

BALDANI, J. I.; REIS, V. M.; VIDEIRA, S. S. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 384, p. 413-431, 2014.

BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZZI, L. E.; CASANOVAS, W. M.; PEREYRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* en optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) **Azospirillum sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 49-59.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BENEDUZI, A.; MOREIRA, F.; COSTA, P. B.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; FAVARETO, R.; BALDANI, J. I.; PASSAGLIA, L. M. P. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 63, p. 94-104, 2013.

BENETT, C. G. S.; BUZETT, S.; BENETT, K. S. S.; FILHO, M. C. M. T.; COSTA, N. R.; MAEDA, A. S.; ANDREOTTI, M. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1077-1088, 2013.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; FILHO, M. C. M. T.; GARCIA, C. M. D. P.; ANDREOTTI, M. Fontes e doses de manganês no acúmulo de nutrientes na palhada em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, 2012.

BILLAH, M.; BANO, A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in modulating the efficiency of poultry litter composting with rock phosphate and its effect on growth and yield of wheat. **Waste Management & Research**, London, v. 33, n. 1, p. 63-72, 2015.

BONILLA, G. A. E. **Efeito da inoculação de bactérias mobilizadoras de fósforo na compostagem da cana-de-açúcar**. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

BORGES, B. M. M. N.; ABDALA, D. B.; SOUZA, M. F.; VIGLIO, L. M.; COELHO, M. J. A.; PAVINATO, P. S.; FRANCO, H. C. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. **Geoderma**, Amsterdam, v. 339, p. 20-30, 2019.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. P. Identification of Gibberellins A1, A3, and Iso-A3 in Cultures of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 90, n. 1, p.45-47, 1989.

BRAGA JUNIOR, R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; SILVA, V. H. P.; LUZ, A. M.; ANJOS, I. A. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - Safra 2018/19 e na região Centro-Sul - Safra 2019/20**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2021. 64p. (Boletim técnico IAC, 225).

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. Ecological significance and complexity of N-source preference in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 112, n. 6, p. 957-963, 2013.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013.

CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; JÚNIOR, J. M. P. Response of sugarcane in a red ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. **The Scientific World Journal**, London, v. 2015, id. 405970, 2015.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E. V. S. Produção de biomassa, de açúcar e de proteína em função de variedades de cana e de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809–818, 2012.

CARDOZO, R. B. **Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle de Meloidoginose em cana-de-açúcar**. 2009. 31 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2009.

CARMO, T. S.; MOREIRA, F. S.; CABRAL, B. V.; DANTAS, R. C. C.; RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L.; RIBEIRO, E. J. Phosphorus recovery from phosphate rocks using phosphate-solubilizing bacteria. **Geomicrobiology Journal**, Philadelphia, v. 36, n. 3, p. 195-203, 2019.

CARVALHO, T. L. G.; BALSEMÃO-PIRES, E.; SARAIVA, R. M.; FERREIRA, P. C. G.; HEMERLY, A. S. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 19, p. 5631-5642, 2014.

CASSÁN, F.; DÍAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 103, p. 117-130, 2016.

CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp. Aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 61-86.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-bacteria-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 33, p. 440-459, 2014.

CASSETARI, A. S. **Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas**. 2015. 161 f. Tese (Doutorado em Ciências - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CHANDRA, A.; CHANDRA, P.; TRIPATHI, P. Whole genome sequence insight of two plant growth-promoting bacteria (*B. subtilis* bs87 and *B. megaterium* bm89) isolated and characterized from sugarcane rhizosphere depicting better crop yield potentiality. **Microbiological Research**, Munich, v. 247, id. 126733, p. 1-11, 2021.

CHAVARRÍA, D. N.; VERDENELLI, R. A.; SERRI, D. L.; RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO A. E; MERILES; J. M.; VARGAS-GIL, S. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. **European Journal of Soil Biology**, Issy-les-Moulineaux, v. 76, p. 74-82, 2016.

CHAVES, D. P.; ZUCARELI, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 57-72, 2013.

CHAVES, V. A. **Desenvolvimento Inicial e Acúmulo de Nutrientes em Três Variedades de Cana-de-açúcar Inoculadas com Bactérias Diazotróficas**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C.; BARKA, E. A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 9, p. 4951-4959, 2005.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, primeiro levantamento: safra 2021/2022**. v. 1, n.1, Brasília, DF, maio 2021. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

CONG, P. T.; DUNG, T. D.; HIEN, N. T. CHOUDHURY, A. T. M. A.; ROSE, M. T.; KECSKÉS, M. L.; DEAKER, R.; KENNEDY, I. R. Effects of a multistrain biofertilizer and phosphorus rates on nutrition and grain yield of paddy rice on a sandy soil in southern Vietnam. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 34, n. 7, p. 1058-1069, 2011.

CONSECANA - Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Consecana, 2006. 112 p.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.). **Azospirillum sp.**: cellphysiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 87-95.

D'ANGIOLI, A. M.; VIANI, R. A. G.; LAMBERS, H.; SAWAYA, A. C. H. F.; OLIVEIRA, R. S. Inoculation with *Azospirillum brasilense* (Ab-v4, Ab-v5) increases *Zea mays* root carboxylate-exudation rates, dependent on soil phosphorus supply. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 410, n. 1-2, p. 499-507, 2017.

DELLABIGLIA, W. J.; GAVA, G. J. C.; ARLANCH, A. B.; VILLAS BOAS, R. L.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Produtividade de cana-de-açúcar fertirrigada com doses de N e inoculadas com bactérias diazotróficas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2018.

DI SALVO, L. P.; FERNANDO, L.; FERNÁNDEZ-SCAAVINO, A.; SALAMONE, I. E. G. Microorganisms reveal what plants do not: wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 424, p. 405-417, 2018.

DÍAZ-ZORITA, M.; BALIÑA, R.; CANIGIA, M. F. *Azospirillum brasilense* enhances alfalfa productivity: field evaluation. In: 9TH INTERNATIONAL AND 1ST LATINAMERICAN PGPR WORKSHOP, 9., 2012, Medellín. **Anais [...]**. Medellín, 2012. p. 3-8.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; ANJOS, I. A.; GARCIA, J.; COSTA, V. P. Influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p. 342-345, 2012.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Amsterdam, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V.L.D.; BALDANI, J.I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995. 60 p.

DOWNING, K. K.; LESLIE, G.; THOMSON, J. A. Biocontrol of the sugarcane borer *Eldana saccharina* by expression of the *Bacillus thuringiensis* cry1Ac7 and *Serratia marcescens* chiA genes in sugarcane-associated bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 66, n. 7, p. 2804-2810, 2000.

EKARDT, F. Justice and Sustainability: Normative Criteria for the Use of Phosphorus. In: EWALD, S.; DE KOK, L. J. (EDS) **Phosphorus in Agriculture: 100% Zero**. Dordrecht: Springer, 2013. p. 317-330.

EMAMI, S.; ALIKHANI, H. A.; POURBABAE, A. A.; ETESAMI, H.; MOTASHAREZADEH, B.; SARMADIAN, F. Consortium of endophyte and rhizosphere phosphate solubilizing bacteria improves phosphorous use efficiency in wheat cultivars in phosphorus deficient soils. **Rhizosphere**, Amsterdam, v. 14, id. 100196, p. 2452-2198, 2020.

ESTEBAN, R.; ARIZ, I.; CRUZ, C.; MORAN, J. F. Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. **Plant Science**, Clare, v. 248, p. 92-101, 2016.

ESTRADA-BONILLA, G. A.; DURRER, A.; CARDOSO, E. J. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 157, id. 103760, p. 1-9, 2021.

ESTRADA-BONILLA, G. A.; LOPES, C. M.; DURRER, A.; ALVES, P. R.; PASSAGLIA, N.; CARDOSO, E. J. Effect of phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus dynamics and the bacterial community during composting of sugarcane industry waste. **Systematic and Applied Microbiology**, Munich, v. 40, n. 5, p. 308-313, 2017.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33 p.

FERNANDES, A. C. 2011. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. 432 p.

FERREIRA, C. A. S.; SANTANA, M. V.; SANTOS, J. B.; SANTOS, T. T. M.; LÔBO, L. M.; FERNANDES, P. M. Yield and technological quality of sugarcane cultivars under infestation of *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 85, e0042017, p. 1-7, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANCISCO, W. C. A. **Revolução Verde**. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/a-revolucao-verde.htm#disqus_thread>. Acesso em: 06 de maio de 2017.

GATIBONI, C. L. **Disponibilidade de formas de Fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GAVA, G. J. C.; SCARPARE, F. V.; CANTARELLA, H.; KÖLLN, O. T.; RUIZ-CORRÊA, S. T.; ARLANCH, A. B.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen source contribution in sugarcane-inoculated plants with diazotrophic bacteria under urea-N fertigation management. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 21, n. 3, p. 462-470, 2018.

GHORBANZADEH, N.; MAHSEFAT, M.; FARHANGI, M.; KHALILI RAD, M.; PROIETTI, P. Short-term impacts of pomace application and pseudomonas bacteria on soil available phosphorus. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 28, id. 101742, p. 1-10, 2020.

GLOBALFERT. **Outlook GlobalFert 2021**. 2ª edição, 2021. Disponível em: <<https://www.globalfert.com.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

GOLDSTEIN, A. H.; ROGERS, R. D.; MEAD, G. Mining by microbe. **BioTechnology**, Frankfurt, v. 11, p. 1250-1254, 1993.

GRANADA, C. E.; PASSAGLIA, L. M.; SOUZA, E. M. de; SPEROTTO, R. A. Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria? **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 9, p. 2054, 2018.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p.1-5, 2001.

GÜGI, B.; ORANGE, N.; HELLIO, F.; BURINI, J. F.; GUILLOU, C.; LERICHE, F.; GUESPIN-MICHEL, J. F. Effect of growth temperature on several exported enzyme activities in the psychrotrophic bacterium *Pseudomonas fluorescens*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 173, n. 12, p. 3814-3820, 1991.

HAMEEDA, B.; HARINI, G.; RUPELA, O. P.; RUPELA, O. P.; WANI, S. P.; REDDY, G. Growth promotion of maize by phosphatolubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, Munich, v. 163, n.2, p. 234-242, 2008.

HASSAN, M. N.; OSBORN, A. M.; HAFEEZ, F. Y. Molecular and biochemical characterization of surfactin producing *Bacillus* species antagonistic to *Colletotrichum falcatum* Went causing sugarcane red rot. **African Journal of Microbiology Research**, Nairobi, v. 4, n. 20, p. 2137-2142, 2010.

HUNGRIA, M. FERTBIO 2016 - **Rumo aos novos desafios**, Goiânia, 2016. (Comunicação oral).

HUSSAIN, M. I.; ASGHAR, H. N.; AKHTAR, M. J.; ARSHAD, M. Impact of phosphate solubilising bacteria on growth and yield of maize. **Soil & Environment**, Faisalabad, v. 32, n. 1, p. 71-78, 2013.

ILLMER, P.; SCHINNER, F. Phosphate solubilizing microorganisms under non-sterile conditions. **Bodenkultur-Wien and Munchen**, Viena, v. 46, p. 197-204, 1995.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, B. E. V.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 2, 2010.

KAUR, G.; REDDY, M. S. Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocal sites. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 61, p. 35-40, 2014.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A. Synergistic effects of the inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 31, n. 6, p. 355-362, 2007.

KING, E. O.; WARD, M. K; RANEY, D. E. Two simple media for demonstration of pyocyanin and fluorescein. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, New York, v. 44, n. 2, p. 301-307, 1954.

KORIR, H.; MUNGAI, N. W.; THUITA, M.; HAMBA, Y.; MASSO, C. Co-inoculation effect of rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, id. 141, p. 1-10, 2017.

KOUR, D.; RANA, K. L.; YADAV, A. N.; YADAV, N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; VYAS, P.; DHALIWAL, H. S.; SAXENA, A. K. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 23, id. 101487, p. 1-11, 2020.

LAVAKUSH, Y. J.; VERMA, J. P.; JAISWAL, D. K.; KUMAR, A. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 62, p. 123-128, 2014.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: **Cana-de-açúcar**, eds. L.L.D. DINARDO-MIRANDA, A.C.M. VASCONCELOS, M.G.A. LANDELL, p. 697-722. Campinas: IAC, 2010.

LEAUNGVUTIVIROJ, C.; RUANGPHISARN, P.; HANSANIMITKUL, P.; SHINKAWA, H.; SASAKI, K. Development of a new biofertilizer with a high capacity for N₂ fixation, phosphate and potassium solubilization and auxin production. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Oxford, v. 74, n. 5, p. 1098-1101, 2010.

LEITE, J. M.; CIAMPITTI, I. A.; MARIANO, E.; VIEIRA-MEGDA, M. X.; TRIVELIN, P. C. Nutrient partitioning and stoichiometry in unburnt sugarcane ratoon at varying yield levels. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 466, 2016.

LEUSCHNER, R. G. K.; BEW, J. Enumeration of probiotic *Bacillus* spores in animal feed: interlaboratory study. **Journal of AOAC International**, Cary, v. 86, n. 3, p. 578-585, 2003.

LIMA, C. C. Disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 21, p. 1222-1227, 2011.

LIRA-CADETE, L.; FARIAS, A.; RAMOS, A. S.; COSTA, D. P.; FREIRE, F. J.; KUKLINSKY-SOBRA, J. Genetic variability of sugarcane-associated diazotrophic bacteria capable of inorganic phosphate solubilizing. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 122-129, 2012.

LOPER, J. E.; HENKELS, M. D. Utilization of heterologous siderophores enhances levels of iron available to *Pseudomonas putida* in the rhizosphere. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n.12, p. 5357-5363, 1999.

MACHADO, P. C. **Identificação molecular e caracterização bioquímica de bactérias endofíticas associadas à cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) com potencial biotecnológico**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

MAGALLON-SERVÍN, P.; ANTOUN, H.; TAKTEK, S.; BASHAN, Y.; BASHAN, L. The maize mycorrhizosphere as a source for isolation of arbuscular mycorrhizae-compatible phosphate rock-solubilizing bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 451, n. 1, p. 169-186, 2020.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição de Plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARANGONI, F. F.; OTTO, R.; ALMEIDA, R. F.; CASARIN, V.; VITTI, G. C.; TIRITAN, C. S. Soluble sources of zinc and boron on sugarcane yield in southeast Brazil. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 21, n. 6, p. 917-924, 2019.

MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 1, p. 89-111, 2004.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

MARRA, L. M.; OLIVEIRA, S. M.; SOARES, C. R. F. S.; MOREIRA, F. M. S. Solubilisation of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 5, p. 603-609, 2011.

MARRA, L. M.; SOARES, C. R. F. S.; OLIVEIRA, S. M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; CARVALHO, R. F.; LIMA, J. M.; MOREIRA, F. M. S. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 357, p. 289-307, 2012.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. Austrália: Elsevier, 2012.

MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 274, p. 1-36, 2005.

MOHLE, K. K.; TIWARI, R.; TONDEY, M.; KUMAR, K. Improving the physio-chemical properties of soil by application of pseudomonas fluorescens. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 8, n. 6, p. 1455-1459, 2019.

MOREIRA, F. M. S.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F.; SILVA K. Bactérias associativas: fixadoras de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. (eds). **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013. p. 341-350.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

MORGADO, T. D. T.; GUERRA, J. T.; ARAUJO, F. F.; MAZZUCHELLI, R. D. C. L. Effectiveness and persistence of biological control of nematodes in sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 10, n. 49, p. 4490-4495, 2015.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Oxford, v. 27, p. 31-36, 1962.

MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; VADIVELU, M.; ARUN, K. Isolation of bacterial strains possessing nitrogen-fixation, phosphate and potassium-solubilization and their inoculation effects on sugarcane. **Indian Journal of Experimental Biology**, New Delhi, v. 55, p. 161-170, 2017.

NAIMAN, A. D.; LATRÓNICO, A.; SALAMONE, I. E. G. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 45, n. 1, p. 44-51, 2009.

NAYLOR, D. T. **The role of drought on root-associated bacterial communities across diverse cereal grass species and over a developmental gradient**. 2017, 156 f. Tese (Doutorado em in Plant Biology) – Universidade da Califórnia, Berkeley, 2017.

NOBILE, F. O. D.; GALBIATTI, J. A.; MURAISHI, R.; RIBEIRO, A. G.; FREDDI, O. S. Quantificação de macronutrientes no solo e em folhas de cana-de-açúcar em função de doses de resíduo da mineração de bauxita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 168-178, 2010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

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**. Lausanne, v. 8, n. 2, p. 350, 2020.

OLIVEIRA, A. L. M.; CANUTO, E. L.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; BALDANI J. I. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 284, p. 23-32, 2006.

OLIVEIRA, A. L. M.; STOFFELS, M.; SCHMIDC, M.; REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; HARTMANN, A. Colonization of sugarcane plantlets by mixed inoculations with diazotrophic bacteria. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 45, p. 106-113, 2009.

OLIVER, R.; SILVA, M. A. Interaction between diazotrophic bacteria and n-fertilizer doses on sugarcane crop. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 41, n. 6, p. 722-736, 2018.

OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E.; Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. (Eds.) **Methods of Soil Analysis, Part 2**. Chemical and Microbiological Properties. 2. ed. Madison, 1982. p. 403-430.

OTEINO, N.; LALLY, R. D.; KIWANUKA, S.; LLOYD, A.; RYAN, D.; GERMAINE, K. J.; DOWLING, D. N. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 6, n. 745, p. 1-9, 2015.

OWEN, A. G; JONES, D. L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, n. 4, v. 33, p. 651-657, 2001.

OWEN, D.; WILLIAMS, A. P.; GRIFFITH, G. W.; WITHERS, P. J. A. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 86, p. 41-54, 2015.

PANHWAR, Q. A.; RADZIAH, O.; ZAHARAH RAHMAN, A.; SARIAH, M.; MOHD RAZI, I.; NAHER, U. A. Contribution of phosphate-solubilizing bacteria in phosphorus bioavailability and growth enhancement of aerobic rice. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 9, n. 3, p. 810-820, 2011.

PARK, Y. S.; DUTTA, S.; ANN, M.; RAAIJMAKERS, J. M.; PARK, K. Promotion of plant growth by *Pseudomonas fluorescens* strain ss101 via novel volatile organic compounds. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v. 461, n. 2, p. 361-365, 2015.

PATEL, P.; SHAH, R.; JOSHI, B.; RAMAR, K.; NATARAJAN, A. Molecular identification and biocontrol activity of sugarcane rhizosphere bacteria against red rot pathogen *Colletotrichum falcatum*. **Biotechnology Reports**, v. 21, n. 8, p. 1-8, 2019.

PEREIRA, I. A.; FERREIRA, M.; OLIVEIRA B. K. S.; MENEZES F. G.; PEIXOTO, J. V. M. *Diatraea saccharalis*, (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar de segundo corte fertilizada com organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2265- 2271, 2020.

PERRIG, D.; BOIERO, L.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; CASSÁN, F.; LUNA, V. Plant growth promoting compounds produced by two agro-nomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and their implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 75, n. 5, p. 1143-1150, 2007.

PRABHU, N.; BORKAR, S.; GARG, S. Chapter 11 - phosphate solubilization by microorganisms: Overview, mechanisms, applications and advances. In: MEENA, S. N.; NAIK, M. M. (Ed.). **Advances in Biological Science Research**. Academic Press, 2019. p. 161-176. ISBN 978-0-12-817497-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128174975000112>.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais: Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p.233–239.

RAMESH, A.; SHARMA, S. K.; YADAV, N.; JOSHI, O. P. Phosphorus mobilization from native soil P-pool upon inoculation with phytate-mineralizing and phosphate-solubilizing *Bacillus aryabhattai* isolates for improved P-acquisition and growth of soybean and wheat crops in microcosmo conditions. **Agricultural Research**, Washington, v. 3, n. 2, p. 118-127, 2014.

REGIS, J. A. V. B. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar em dois ciclos produtivos**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos de cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p.

RHEINHEIMER, D. S.; FORNARI, M. R.; BASTOS, M. C.; FERNANDES, G.; SANTANNA, M. A.; CALEGARI, A.; SANTOS, CANALLI, L. B. S.; CANER, L.;

LABANOWSKI, J.; TIECHER, T. Phosphorus distribution after three decades of different soil management and cover crops in subtropical region. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 192, p. 33-41, 2019.

RIDESA - REDE UNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOLEIRO. Programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar. **Catálogo nacional de variedades "RB" de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: T.C.C. Ripoli. 2009.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, Oxford, v. 17, p. 319-339, 1999.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.; GONZALEZ, T.; BASHAN, Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 287, n. 1, p. 15-21, 2006.

RODRÍGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, New York, v. 91, p. 552-555, 2004.

RODRÍGUEZ-BLANCO, A.; SICARDI, M.; FRIONI, L. Plant genotype and nitrogen fertilization effects on abundance and diversity of diazotrophic bacteria associated with maize (*Zea mays* L.). **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 51, p. 391-402, 2015.

ROSA, P. A. L. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

RUDRESH, D. L.; SHIVAPRAKASH, M. K.; PRASAD, R. D. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 28, p. 139-146, 2005.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T.; LUCCHESI, L. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Científica Intelletto**, Venda Nova do Imigrante, v. 2, n. 2, p. 16-27, 2017.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, F.; QUEIROZ, J. H.; RABELO, S. C. Qualidade da cana-de-açúcar para processamento industrial. In: **Cana-de-açúcar, do plantio à colheita**, eds. F. SANTOS, A. BORÉM, p. 277-290. Viçosa: UFV, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, I. B.; LIMA, D.; BARBOSA, J. G.; OLIVEIRA, J.; FREIRE, F. J.; KUKLINSKY-SOBRA, J. Diazotrophic bacteria associated to roots of sugarcane: inorganic phosphate solubilization and the salinity tolerance. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 142-149, 2012.

SANTOS, J., RIBEIRO, P., ASSIS, E., SOARES, I., MOREIRA, F. M. Formononetina e fósforo não afetam a densidade de bactérias fixadoras de nitrogênio associativas na rizosfera de milho. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1121-1128, 2015.

SANTOS, R. M.; KANDASAMY, S.; RIGOBELLO, E. C. Sugarcane growth and nutrition levels are differentially affected by the application of PGPR and cane waste. **Microbiology Open**, v. 7, n. 6, e00617, 2018.

SANTOS, S. G.; CHAVES, V. A.; RIBEIRO, F. S.; ALVES, G. C.; REIS, V. M. Rooting and growth of pre-germinated sugarcane seedlings inoculated with diazotrophic bacteria. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 133, p. 12-23, 2019.

SANTOS, S. G.; RIBEIRO, F. S.; ALVES, G. C.; SANTOS, L. A.; REIS, V. M. Inoculation with five diazotrophs alters nitrogen metabolism during the initial growth of sugarcane varieties with contrasting responses to added nitrogen. **Plant and Soil**, Dordrecht, n. 451, p. 25-44, 2020.

SANTOS, S. G.; RIBEIRO, F. S.; FONSECA, C. S. D.; PEREIRA, W.; SANTOS, L. A.; REIS, V. M. Development and nitrate reductase activity of sugarcane inoculated with five diazotrophic strains. **Archives of Microbiology**, New York, v. 199, n. 6, p. 863-873, 2017.

SANTOYO, G.; OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; GOVINDAPPA, M. Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review. **Biocontrol Science and Technology**, Abingdon, v. 22, n. 8, p. 855-872, 2012.

SARAVANAN, V. MADHAIYAN, M.; OSBORNE, J.; THANGARAJU, M.; AS, T. Ecological occurrence of Gluconacetobacter diazotrophics and nitrogen-fixing Acetobacteraceae members: their possible role in plant growth promotion. **Microbial Ecology**, New York, v. 55, p. 130-140, 2008.

SCHULTZ, N. **Fixação Biológica de nitrogênio associada à cultura de cana de açúcar: eficiência e contribuição da inoculação com bactérias diazotróficas**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

SCHULTZ, N.; SILVA, J. A. D.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; CHAVES, V. A.; PEREIRA, W.; SILVA, M. F.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 407-414, 2014.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V., PINTO, A. S., JENDIROBA, E. NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: Livroceres, 2006. p. 19-36.

SHUKLA, S. K.; SHARMA L.; JAISWAL V. P.; PATHAK, A. D.; TIWARI R.; AWASTHI, S. K.; GAUR A. Soil quality parameters vis-a-vis growth and yield attributes of sugarcane as influenced by integration of microbial consortium with NPK fertilizers. **Scientific Reports**, Londres, v. 10, n. 19180, p. 1-17. 2020.

SILVA, F. C. D. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Solos Brasília, 2009.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Plant Physiology**, Rockville, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, L.; ANTONIO, F. Crescimento e rendimento da Cana-de-açúcar irrigada submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 14, n. 1, 2020.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. R. Produção de colmos e acumulação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar em três ciclos de colheita. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 41, n. 2, p. 415-423, 2018.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; COELHO, D. S.; SOUZA, M. A.; LIMA, J. A. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2015.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 16, n. 9, 1265-1277, 2014.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. Washington: Natural Resources Conservation Service and Agriculture Department, 2014.

SOUMARE, A.; BOUBEKRI, K.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and needs. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, Lausanne, v. 7, n. 425, p.1-14, 2020.

SOUZA JUNIOR, P. R. **Modos de aplicação e doses de fósforo na cana-de-açúcar em distintos manejos de solo**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

SPAEPEN, S.; BOSSUYT, S.; ENGELN, K.; MARCHAL, K.; VANDERLEYDEN, J. Phenotypical and molecular responses of *Arabidopsis thaliana* roots as a result of inoculation with the auxin-producing bacterium *Azospirillum brasilense*. **New Phytologist**, Malden, v. 201, n. 3, p. 850-861, 2014.

STRZELCZYK, E.; KAMPER, M.; LI, C. Cytocinin-like-substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. **Microbiological Research**, Jena, v. 149, p. 55-60, 1994.

SUMAN, A.; SHRIVASTAVA, A. K.; GAUR, A.; SINGH, P.; SINGH, J.; YADAV, R. L. Nitrogen use efficiency of sugarcane in relation to its BNF potential and population of endophytic diazotrophs at different N levels. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 54, n. 1, p. 1-11, 2008.

TAHIR, H. A.; GU, Q.; WU, H.; RAZA, W.; HANIF, A.; WU, L.; COLMAN, M. V.; GAO, X. Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* syst2. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, p. 171, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAULÉ, C.; MAREQUE, C.; BARLOCCO, C.; HACKEMBRUCH, F.; REIS, V. M.; SICARDI, M. The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum*

officinarum L.), and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 356, n.1-2, p. 35-49, 2012.

TAYADE, A.; GEETHA, P.; ANUSHA, S.; DHANAPAL, R.; HARI, K. Bio-intensive modulation of sugarcane ratoon rhizosphere for enhanced soil health and sugarcane productivity under tropical indian condition. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 21, n. 2, p. 278-288, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.

TOMAZ, H. V. Q., **Fontes, doses e formas de aplicação de fósforo na cana-de-açúcar**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013.

TSADO, P. A.; LAWAL, B. A.; IGWE, C. A.; ADEBOYE, M. K. A.; ODOFIN, A. J.; ADEKAMBI, A. A. Effects of sources and levels of phosphorus on yield and quality of sugarcane in southern guinea savanna zone of Nigeria. **Agriculture Science Developments**, v. 2, n. 3, p. 25-27, 2013.

UPADHYAY, A.; SRIVASTAVA, S. Evaluation of multiple plant growth promoting traits of an isolate of *Pseudomonas fluorescens* strain Psd. **Indian Journal of Experimental Biology**, New Delhi, v. 48, n. 6, p. 601-609, 2010.

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M. L.; TOURAINE, B.; MOENNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, p. 356, 2013.

VANCE, C. P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 127, n. 2, p. 390-397, 2001.

VASCONCELOS, R. L.; ALMEIDA, H. J.; PRADO, R. M.; SANTOS, L. F. J.; PIZAULO JÚNIOR, J. M. Filter cake in industrial quality and in the physiological and

acid phosphatase activities in cane-plant. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 105, p. 133-141, 2017.

VENDAN, R.T., YU, Y.J., LEE, S.H.; RHEE, Y. H. Diversity of endophytic bacteria in ginseng and their potential for plant growth promotion. **Journal Microbiology**, v. 48, p. 559-565, 2010.

VESSEY, J. K. Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 255, p. 571-586, 2003.

VISWANATHAN, R., SAMIYAPPAN, R. Siderophores and iron nutrition on the *Pseudomonas* mediated antagonism against *Colletotrichum falcatum* in sugarcane. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 9, n. 1, p. 57-60, 2007.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. GAVA, G. J. C. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.2, p. 249-256, 2007.

ZAMARIOLLI, L. E. R. **Inoculação de *Pseudomonas* via semente e eficiência agrônômica de fosfatos na cultura do milho**. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2016.

ZENG, Q.; LUO, F.; ZHANG, Z.; YAN, R.; ZHU, D. Phosphate solubilizing rhizosphere bacterial T21 isolated from dongxian wild rice species promotes cultivated rice growth. **Applied Mechanics and Materials**, Millersville, v. 108, p. 167-175, 2012.

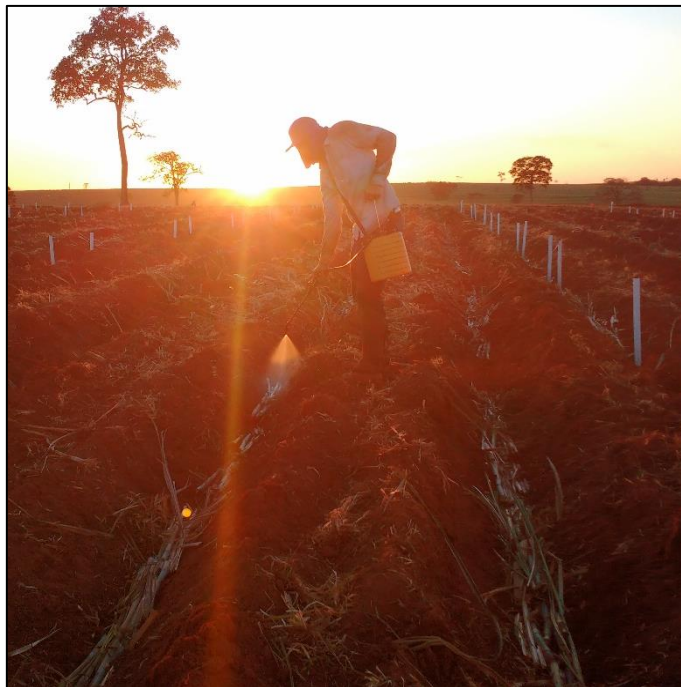
ZHANG, Y.; LI, Y.; WANG, S.; UMBREEN, S.; ZHOU, C. Soil phosphorus fractionation and its association with soil phosphate-solubilizing bacteria in a chronosequence of vegetation restoration. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 164, p. 106208, 2021.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Physiological and growth responses of sugarcane genotypes to nitrogen rate on a sand soil. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 200, n. 4, p. 290-301, 2014.

ZULUAGA, M. Y. A.; MILANI, K. M. L.; MIRAS-MORENO, B.; LUCINI, L.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; PII, Y.; CESCO, S.; RODRIGUES, E. P.; OLIVEIRA, A. L. M. Inoculation with plant growth-promoting bacteria alters the rhizosphere functioning of tomato plants. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 158, id. 103784, 2021.

APÊNDICE A - REGISTROS DA PESQUISA

1. Descrição e classificação do perfil do solo do experimento (esquerda) e momento da inoculação com as bactérias sobre os toletes, no plantio da cana-planta (direita).



2. Fase de brotação da cana-planta.



3. Fase de crescimento dos colmos da cana-planta (esquerda) e fase de maturação na ocasião da colheita da cana-planta (direita).



4. Amostras de colmos da cana-planta destinadas à análises tecnológicas (esquerda) e área após a colheita da cana-planta aguardando rebrota da 1ª cana-soca (direita).



5. Inoculação com bactérias na rebrota da 1ª cana-soca (esquerda) e momento da colheita da 1ª cana-soca (direita).



6. Porte da cultura em ocasião de colheita: cana-planta (esquerda) e 1ª cana-soca (direita).

