

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS ILHA SOLTEIRA**

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS BENÉFICAS ASSOCIADA A ADUBAÇÃO
REDUZIDA EM COBERTURA SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

ROSAN MARCIANO LEITE JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Ilha Solteira, 2025

ROSAN MARCIANO LEITE JUNIOR

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS BENÉFICAS ASSOCIADA A ADUBAÇÃO
REDUZIDA EM COBERTURA SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Ilha Solteira, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L533i Leite Júnior, Rosan Marciano.
Inoculação de bactérias benéficas associada a adubação reduzida em cobertura sobre variedades de cana-de-açúcar / Rosan Marciano Leite Júnior. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
41 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes
Inclui bibliografia

1. Cana-soca. 2. Adubação com nitrogênio E Potássio. 3. Azospirillum brasilense; 4. Bacillus subtilis. 5. Pseudomonas fluorescens..

Sandra Montibeller - CRB-8/060

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Inoculação de bactérias benéficas associada a adubação reduzida em cobertura sobre variedades de cana-de-açúcar

ALUNO: *Rosan Marciano Leite Junior* RA: 181050242

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 7,5

Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Data: 27/06/2025 15:43:01-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

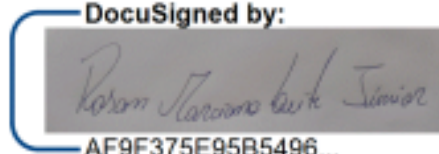
 Documento assinado digitalmente
RODOLFO DE NIRO GAZOLA
Data: 27/06/2025 15:57:23-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Dr. Rodolfo de Niro Gazola

 Documento assinado digitalmente
WILLIAM CESAR NISHIMOTO ITO
Data: 27/06/2025 16:06:23-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Me. William Cesar Nishimoto Ito

DocuSigned by:



AF9E375E95B5496

Rosan Marciano Leite Junior

Ilha Solteira, 27 de junho de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os profissionais da universidade que contribuíram com a minha formação, dedico também aos meus pais, irmã, e amigos que estiveram comigo durante esse tempo.

Dedico também este trabalho aos meus amigos que se foram ao longo desta minha caminhada acadêmica e que foram de grande importância em minha trajetória, para eles Salvador Gonzalez (Diuma) e Guilherme (Greg).

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus por todas as oportunidades que têm colocado em minha vida, e sempre me abençoado.

Agradeço meus pais, Rosan e Andrea, e minha irmã, Maria Tereza, pela força e incentivo, e, por confiarem em mim nas minhas tomadas decisões, e a todos os ensinamentos que eles me passaram ao longo da vida.

Agradeço a UNESP pelo suporte ao ensino, estrutura e orientação durante a graduação. Agradeço a todos os professores, zeladores e a todos os demais profissionais envolvidos a instituição. Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho por ter me aceitado como seu estagiário em seu grupo de pesquisa e extensão de Nutrição de Plantas, sendo um professor muito atencioso e paciente não somente comigo, mas com todos no grupo. Agradeço ao Guilherme Carlos Fernandes, coorientador, pela sua atenção e disponibilidade para acompanhar todo o processo dessa pesquisa e também a colaboradora do projeto Laura Figaro.

Agradeço ao técnico do laboratório de nutrição de plantas Marcelo Rinaldi, por toda ajuda nas análises.

Agradeço a todos os amigos que estiveram comigo durante essa caminhada.

Agradeço aos colegas de turma.

Agradeço também à República SanTomé, a todos os moradores com os quais eu convivi e também aqueles que por ali passaram.

“Nossa força maior não está na capacidade de pensar, mas em algo mais poderoso: o poder de controlar e direcionar nossos pensamentos para onde quisermos.”

(Napoleon Hill)

Resumo

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, o que torna essa cultura de extrema importância para o estudo de novas metodologias e técnicas que aumentem a produção, a qualidade tecnológica e reduzam os custos operacionais. O aperfeiçoamento de técnicas de cultivo e uma maior atenção à questão nutricional são determinantes para alcançar ganhos crescentes e reduzir os custos de produção. Este estudo teve como objetivo validar o conceito de que a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) pode atender às exigências atuais de maior produção e melhor qualidade dos produtos finais. Para isso, foram utilizadas três variedades de cana-de-açúcar: RB867515 (C1), CTC4 (C2) e RB92579 (C3); e três tratamentos com bactérias: *Azospirillum brasilense* (AZ), *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF), além de um controle (Sem Inoculação - S.I.). Os tratamentos foram associados à redução de 25% da adubação de cobertura com nitrogênio (N) e potássio (K), utilizando o formulado 19-00-24, ou seja, uma dose de 75% (397,5 kg ha⁻¹) daquela recomendada pela usina para cana-soca. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC). As inoculações tiveram efeitos nas variedades de cana-de-açúcar estudadas. A variedade RB867515 apresentou melhores resultados nos parâmetros tecnológicos. A CTC4 teve resposta muito satisfatória nos parâmetros biométricos e tecnológicos quando inoculada com a BPCP *Pseudomonas fluorescens*, enquanto a RB92579 obteve boa resposta com a inoculação de *Azospirillum brasilense*. Conclui-se que a utilização de rizobactérias, em associação à adubação reduzida, é uma prática agronomicamente viável, com potencial para contribuir com a sustentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar sendo que a eficiência depende da combinação específica bactéria-variedade.

Palavras chave: Cana-soca; Adubação com nitrogênio e potássio; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*.

Abstract

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, making this crop extremely important for the development of new methodologies and techniques aimed at increasing yield, improving technological quality, and reducing operational costs. The refinement of cultivation techniques and greater attention to nutritional aspects are crucial for achieving sustained gains and lowering production costs. This study aimed to validate the concept that using Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPRs) can address current demands for higher productivity and enhanced quality of final products. The experiment employed three sugarcane varieties: RB867515 (C1), CTC4 (C2), and RB92579 (C3); and three bacterial treatments: *Azospirillum brasilense* (AZ), *Bacillus subtilis* (BS), *Pseudomonas fluorescens* (PF), alongside a control (No Inoculation - N.I.). These treatments were combined with a 25% reduction in top-dressing fertilization of nitrogen (N) and potassium (K) using the 19-00-24 formulation, corresponding to 75% (397.5 kg ha⁻¹) of the dose recommended by the mill for the ratoon crop. A randomized complete block design (RCBD) was adopted. Inoculations exerted effects on the studied sugarcane varieties. Variety RB867515 exhibited superior results in technological parameters. CTC4 demonstrated highly satisfactory responses in biometric and technological parameters when inoculated with the PGPR *Pseudomonas fluorescens*, whereas RB92579 showed a positive response to *Azospirillum brasilense* inoculation. It is concluded that the use of rhizobacteria, in association with reduced fertilization, is an agronomically viable practice, with the potential to contribute to the sustainability of sugarcane cultivation, with efficiency depending on the specific bacteria-variety combination.

Keywords: Sugarcane; Fertilization with of nitrogen and potassium; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
	2.1 CANA-DE-AÇÚCAR	14
	2.2 RIZOBACTERIAS	15
	2.2.1 <i>Azospirillum brasilense</i>	15
	2.2.1 <i>Bacillus subtilis</i>	16
	2.2.2 <i>Pseudomonas fluorescens</i>	17
	2.3 NUTRIENTES REDUZIDOS	18
3.	MATERIAL E MÉTODOS	19
	3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	19
	3.1 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
	3.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	21
	3.2.1 Adubação e Inoculação	21
	3.3 AVALIAÇÕES	22
	3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
	4.1 CONCENTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE DA CANA-DE-AÇÚCAR	23
	4.2 ANÁLISE BIOMÉTRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR	25
	4.3 VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS E PRODUTIVIDADE DE COLMOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	28
5	Conclusão	32
6	Referências bibliográficas	33

1. INTRODUÇÃO

Desempenhando um papel fundamental em todo o cenário agroindustrial brasileiro, podendo ser considerada uma das culturas mais importantes do país, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp. L.*) merece destaque quanto as evoluções que vem acontecendo quando se diz respeito as tecnologias de cultivo. Segundo a Embrapa, a cana-de-açúcar é uma cultura de grande relevância para o Brasil, não apenas pela produção de açúcar e etanol, mas também pela geração de energia pelo bagaço. Além disso, a cana-de-açúcar é uma cultura que tem apresentado avanços significativos em termos de produtividade e sustentabilidade, graças ao desenvolvimento de tecnologias e práticas agrícolas mais eficientes.

A cana-de-açúcar é uma planta perene, podendo produzir por um período médio de quatro a seis anos, com manejo relativamente fácil. Atualmente, a cana-de-açúcar é plantada em quase todo o Brasil, com destaque para as regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste do País. O estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar e seus derivados, com a maior área plantada do cultivar (Souza et al., 2022).

Essa cultura se tornou importante no agronegócio brasileiro devido aos recordes na produção e exportação de açúcar, bem como a sua contribuição para a combustão de carros via etanol e a geração de energia pelo bagaço (Souza et al., 2022). Souza (2022), complementa que conhecer o comportamento comercial dos subprodutos da cana-de-açúcar no mercado interno e externo é vantajoso para o desenvolvimento de projetos de comercialização e tomadas de decisão. Como o Brasil tem uma participação importante no mercado internacional de açúcar, um forte mercado interno desse produto, além de produzir um elevado volume de etanol (anidro e hidratado), é esperada a previsão das produções dessas *commodities* tanto para a exportação quanto para suprir o mercado interno, visto que, esses produtos têm origem na cana-de-açúcar.

De acordo com o portal NOVACANA (2025) a safra de cana-de-açúcar encerrou o ciclo 2024/25 com produção estimada em 676,96 milhões de toneladas, redução de 5,1% em comparação com a safra de 2023/24, a queda é reflexo dos baixos índices de chuvas, aliados às altas temperaturas registradas na região Centro-Sul, que representa 91% da produção total do país, outro fator também foram as queimadas que contribuíram

para a redução desta produtividade. Já a produção total de etanol na safra 2024/25 atingiu 37,2 bilhões de litros, acréscimo de 1,1% com relação à safra anterior.

Devido ao seu papel na produção de alimentos, matérias-primas e energia, o cultivo de cana-de-açúcar é uma das atividades econômicas que mais cresce e também que mais traz relevância em discussões no mundo atualmente. No entanto, vários obstáculos à produção agrícola, incluindo o esgotamento dos recursos naturais, a deterioração do solo e a demanda para maior produtividade é acompanhada de desafios que devem ser solucionados.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é uma atividade de grande relevância econômica, influenciada por diversos fatores, incluindo os custos de produção. Costa et al. (2021) destacam que os custos de produção da cana-de-açúcar variam em diferentes regiões do Brasil, sendo influenciados pelo preço dos insumos agrícolas, mão de obra, tecnologia e condições climáticas. Lima et al. (2020) observaram em seu estudo uma tendência de aumento nos custos de produção devido ao aumento dos preços dos fertilizantes, energia e pressões inflacionárias na região Centro-Sul do Brasil. No entanto, Oliveira et al. (2019) sugerem que a adoção de práticas de manejo mais eficientes e o uso de tecnologias modernas podem contribuir para a redução dos custos de produção de cana-de-açúcar, tornando a atividade mais competitiva no mercado global.

Para Chaves, Valfredo Almeida et al. (2015), produzir mais com menor custo no setor sucroenergético é uma meta a ser seguida em qualquer contexto agrícola. A inoculação com bactérias promotoras de crescimento em cana-de-açúcar pode ser considerada uma alternativa capaz de contribuir para a sustentabilidade desse setor, uma vez que a atuação de mecanismos de promoção de crescimento e o suprimento do nitrogênio, N, via fixação biológica de nitrogênio (FBN) permitem ganhos de produtividade e reduzem a utilização de insumos de alto custo, desonerando o sistema de produção da cana-de-açúcar.

A fim de buscar melhores alternativas e resultados, produtivos e nutricionais as plantas, o uso de bactérias que promovem um ganho de performance tem sido criteriosamente investigado e estudado a fundo, com um intuito de encontrar um método para melhorar o desempenho das culturas agrícolas, não somente de cana-de-açúcar, e diminuir o uso de fertilizantes químicos, a fim de redução de custos para os produtores e também um menor impacto ambiental.

A habilidade dessas bactérias em colonizar todo o interior de plantas, localizando-se em nichos protegidos do oxigênio, juntamente com outros fatores, as tornam os mais promissores grupos de diazotróficos associados às plantas não leguminosas, e, como resultado dessa endossimbiose, a planta recebe benefícios ecológicos da presença do simbionte como controle de fitopatógenos ou promoção do crescimento vegetal (Ryan et al., 2008). A viabilidade da aplicação tecnológica desses microrganismos na cultura da cana-de-açúcar encontra respaldo em muitos trabalhos científicos, que apontam diversos benefícios para essa cultura. Estima-se que a contribuição da FBN para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar no Brasil pode contribuir com pelo menos 40 kg ha⁻¹ de N (Urquiaga et al., 2012)

As bactérias fazem um papel importante nas plantações, pois além de melhorarem o aproveitamento de absorção de determinados nutrientes promovem ainda um aumento na microfauna do solo, sendo um benéfico para os próximos cultivos que virão.

O cultivo da cana-de-açúcar é fundamental para a produção de açúcar, etanol e bioenergia, o uso de fertilizantes químicos pode ter efeitos prejudiciais ao meio ambiente. Tem sido estudado se a inoculação de bactérias diazotróficas são uma alternativa viável para reduzir o uso de fertilizantes químicos e melhorar a produção de cana-de-açúcar. Segundo Souza et al (2019), as espécies de bactérias diazotróficas estudadas para inoculação de cana-de-açúcar incluem *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, que podem melhorar o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes

Estas bactérias se destacam dentre as outras que promovem o crescimento vegetativo, pois podem fixar o nitrogênio atmosférico e disponibilizá-lo para as plantas. Para Cassán et al. (2009), a absorção de nitrogênio pelas plantas pode ser melhorada por bactérias diazotróficas, aumentando a produtividade das plantas e a resistência a doenças. a administração das mesmas pode diminuir a necessidade de fertilizantes químicos, o que pode ajudar a preservar o meio ambiente.

A inoculação com bactérias diazotróficas pode ocorrer em vários estágios do desenvolvimento de uma planta, incluindo a fase de emergência. Isso reforça a relevância estudo, que visa avaliar os efeitos da inoculação com as bactérias diazotróficas *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* na emergência e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

As bactérias promotoras de crescimento vegetal podem afetar as plantas de várias maneiras, incluindo a produção de hormônios vegetais e a solubilização de minerais (Glick, 2012). Além disso, as bactérias promotoras de crescimento vegetal podem fortalecer as plantas contra estresse biótico e abiótico, como doenças, pragas, salinidade e seca.

A finalidade deste estudo é avaliar os efeitos da inoculação com bactérias diazotróficas na produtividade e qualidade de culturas agrícolas. Isso contribui para o avanço da compreensão do uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal na agricultura. Este estudo pode ajudar produtores e pesquisadores que estão procurando métodos de produção agrícola sustentáveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma cultura de extrema importância devido ao seu potencial como fonte de bioenergia renovável, envolvendo diversos tipos de etanol e açúcares. Os dejetos de cana que são tratados e também reutilizados no processo, através da queima se tornando um combustível, ou também destinados para alimentação para animais, como o gado, devido ao seu alto nível de fibras.

Segundo Oliveira et al. (2018), a cana-de-açúcar é uma matéria-prima versátil que pode ser transformada em diversos produtos, incluindo etanol e bioeletricidade, desempenhando um papel fundamental na redução da dependência de combustíveis fósseis e na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Além do mais, Bonini e Vianna (2019) destacam que a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar contribui significativamente para a segurança energética de muitos países, além de gerar empregos e promover o desenvolvimento econômico nas regiões onde é cultivada. Portanto, a cana-de-açúcar representa não apenas uma importante fonte de energia renovável, mas também uma oportunidade para impulsionar a sustentabilidade ambiental e o crescimento econômico.

Dados compilados por organizações como a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) indicam que os principais produtores mundiais de cana-de-açúcar incluem o Brasil, Índia, China, Tailândia e Paquistão (FAO, 2021). Smith (2020) diz que o Brasil é

amplamente reconhecido como o líder mundial na produção de cana-de-açúcar, impulsionado principalmente pela sua utilização na produção de etanol como biocombustível, um setor no qual o país tem demonstrado notável crescimento e inovação.

De acordo com o relatório divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção de cana-de-açúcar registrou um aumento significativo na safra 2023/24, estimada em 677,6 milhões de toneladas, representando um crescimento de 10,9% em relação à safra anterior (Conab, 2024). Esse aumento na produção está diretamente ligado aos esforços contínuos do setor agrícola brasileiro e também a incansável busca de novas tecnologias para serem implementadas à produção para atender à crescente demanda por cana-de-açúcar e seus derivados, como açúcar e etanol.

2.2 RIZOBACTERIAS

Chanway (1997) relata que as RPCPs (Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas), têm sido consideradas essenciais em relação ao suprimento de nutrientes disponibilizados às plantas, como nitrogênio, fósforo e ferro, auxiliando no melhor desenvolvimento no ciclo vegetal.

A habilidade dessas bactérias em colonizar todo o interior de plantas, localizando-se em nichos protegidos do oxigênio, juntamente com outros fatores, as tornam os mais promissores grupos de diazotróficos associados às plantas não leguminosas, e, como resultado dessa endossimbiose, a planta recebe benefícios ecológicos da presença do simbionte como controle de fitopatógenos ou promoção do crescimento (RYAN et al., 2008).

A viabilidade da aplicação tecnológica desses microrganismos na cultura da cana-de-açúcar encontra respaldo em muitos trabalhos científicos, que apontam diversos benefícios para essa cultura. Estima-se que a contribuição da fixação biológica de nitrogênio, FBN, para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar no Brasil pode contribuir com pelo menos 40 kg ha⁻¹ de N (Urquiaga et al., 2012)

2.2.1 *Azospirillum brasilense*

As bactérias diazotróficas consistem num grupo de microrganismos capazes de converter o nitrogênio (N₂) presente na atmosfera em formas que podem ser assimiláveis pelas plantas (NH₃), por meio da FBN, processo esse diretamente influenciado pela

enzima nitrogenase (SHIN et al., 2016). Watanabe (2023) destaca que entre os gêneros bacterianos que fixam nitrogênio e promovem o crescimento vegetal destaca-se o gênero *Azospirillum*, que pode ser encontrado nas raízes, folhas e colmos da cana-de-açúcar. Seu uso como insumo biológico na referida cultura é interessante, pois quando associada à rizosfera pode contribuir para a nutrição nitrogenada das plantas (SCUDELETTI et al., 2023)

O *Azospirillum brasilense* é uma bactéria endofítica causadora de endosimbiose, gram-negativas, com formato de bastonetes e está presente em toda a parte da planta (no caso da cana-de-açúcar, está presente nas raízes, folhas e colmos) e em todos os tipos de solo (LINO, 2020). Lino (2020) completa dizendo que o uso de *Azospirillum* tem despertado grande interesse por parte de pesquisadores em biologia e fertilidade do solo, uma vez que, quando associadas à rizosfera de plantas podem contribuir para a nutrição nitrogenada destas.

De acordo com Cadore (2014), as bactérias do gênero *Azospirillum* são diazotróficas endofíticas facultativas e a aplicação via foliar torna-se uma alternativa de inoculação, que além de evitar possíveis incompatibilidades com determinados tipos de agroquímicos aplicados no momento do plantio podendo proporcionar efeitos prejudiciais, tem a finalidade de melhorar o estabelecimento destas bactérias, já que elas podem se translocar, penetrar via estômato e colonizar as raízes via xilema.

Segundo Okon; Vanderleyden (1997, baseando-se em dados acumulados durante 22 anos de pesquisa com experimentos de inoculação em campo, de pequenas áreas, descreveram que o gênero *Azospirillum spp* aumentou o rendimento em importantes culturas, como por exemplo, soja, milho e arroz, embora ressaltem que o ganho vai mais além do que o simples fixar biologicamente o N, pois também auxilia na ampliação da superfície de absorção das raízes da planta e, conseqüentemente, do volume de substrato do solo explorado. Como mecanismo de ação, muitos desses efeitos do *Azospirillum spp* nas plantas possam ser atribuídos à produção, pela bactéria, de substâncias promotoras de crescimento, entre elas auxinas, giberilinas e citocininas, e não somente à fixação biológica de N.

2.2.2 *Bacillus subtilis*

A bactéria *Bacillus subtilis* têm sido considerados alguns dos microrganismos mais importantes na agricultura, pois sua eficácia como promotores de crescimento e

indutores de resistência a diferentes tipos de estresse nas plantas foi demonstrada (SU et al., 2020). A colonização do sistema radicular por *Bacillus subtilis* é um processo que resulta em uma associação benéfica tanto para a planta quanto para o microrganismo (HASHEM; TABASSUM; FATHI ABD_ ALLAH, 2019).

Como todas as PGPRs, *Bacillus subtilis* possui mecanismos que afetam diretamente as plantas, proporcionando benefícios, como (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009); SU et al., 2020). Também, auxilia na nutrição vegetal através da fixação biológica do nitrogênio e da solubilização dos fosfatos; além de potencializar o crescimento pela ação do fito-hormônios produzidos por essas bactérias (SWARNALAKSHMI et al., 2020). Sua aplicação resulta na diminuição do uso de fertilizantes químicos e no aumento do crescimento e produtividade das culturas (MATIRU; DAKORA, 2004; GOUDA et al., 2018).

Os mecanismos indiretos utilizados pelas PGPRs estão relacionados ao controle biológico de doenças nas plantas, portanto, ao manter a saúde das culturas, garante-se o bom desenvolvimento vegetal e a produtividade (GLICK, 2020). *B. subtilis* é um importante agente de biocontrole, devido à sua capacidade de produzir metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, podendo assim inibir o desenvolvimento de fitopatógenos (STEIN, 2005).

2.2.3 *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas spp. é um gênero de bactérias Gram-negativas em forma de bastonetes que não desenvolvem esporos (COMPANT et al., 2005). Segundo Querioz et al. (2006) e Pedrinho (2009), os *Pseudomonas fluorescens* são rizobactérias que se destacam como potentes colonizadoras da rizosfera, podendo ser inoculadas no solo, aumentando o crescimento vegetal, porque produzem ou alteram a concentração de hormônios vegetais influenciando os processos fisiológicos.

Pseudomonas fluorescens melhoram a nutrição de fósforo em plantas, pois solubiliza o fosfato inorgânico no solo, essa bactéria produz ácidos orgânicos (cítrico, oxálico e glucônico), que diminuirá o pH do solo, liberando esses ânions uma vez adsorvidos nos coloides (AFZAL; BANO, 2008; (OLIVEIRA et al., 2015). A bactéria estimula o crescimento radicular, pois induz a planta a produzir em maior quantidade fitormônios (auxinas, giberelinas e citocininas), que facilitará na absorção de água e nutrientes, melhorando a nutrição do vegetal (CORNELIS, 2008).

De acordo com Coelho (2007), a utilização destes microrganismos passou a ser uma alternativa para diminuição da utilização de agrotóxicos e produtos químicos que, se utilizados de forma errônea, podem atingir o lençol freático e contaminar os recursos hídricos. Além disso, o uso de tais inoculantes pode aumentar a produção agrícola, tornar o produto mais competitivo e diferenciado e ainda diminuir os custos para o produtor, pela menor necessidade de insumos.

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA

O nitrogênio pode ser considerado o macronutriente mais limitante para a produtividade das culturas. Possui papel importante ligado diretamente no desenvolvimento vegetal sendo indispensável para síntese de proteínas, enzimas e clorofila, onde sua disponibilidade influencia na eficiência fotossintética.

O nitrogênio (N) é considerado elemento essencial para as plantas, pois está presente na composição das mais importantes biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas (MIFLIN & LEA, 1976; HARPER, 1994). É o nutriente mais limitante para a produtividade da cana, com deficiência reduzindo a biomassa em até 50%, principalmente devido à inibição do perfilhamento e alongamento dos entrenós (ZHANG et al., 2020)

Bredemeier e Mundstock (2000) diz que nitrogênio é absorvido como NO_3^- ou NH_4^+ e assimilado em aminoácidos tanto nas raízes quanto na parte aérea. A taxa de absorção depende de transportadores de membrana, atividade enzimática e disponibilidade energética. Uma característica importante da disponibilidade de N é sua ampla flutuação no solo durante o tempo em que as culturas permanecem no campo (PURCINO et al., 2000).

O potássio também entra no grupo do macronutrientes que são de extrema importância para as plantas. Possuindo diversas funções essenciais participa também da síntese proteica, regulação hídrica entre outras funções de extrema importância para o metabolismo plantas.

O potássio facilita a assimilação de carbono, produção e translocação de açúcares, sendo crítico para culturas sacarinas como a cana-de-açúcar. Ativa mais de 50 enzimas, incluindo a RuBisCO (BHATT et al., 2020)

O K do solo é formado pelo K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e o K estrutural, e o suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos

coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (Sparks & Huang, 1985)

Rosolem et al. (2006) observaram que adubação potássica, assim como aquele disponibilizado da palha que permanece sobre o solo, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada na Fazenda Santa Teresa, Usina Vale do Paraná de Açúcar e Alcool. A fazenda está localizada no município de Suzanápolis, na região noroeste do estado de São Paulo. O experimento foi realizado em uma área destinada a pesquisas, no talhão 112. As coordenadas geográficas desse local são: 20°22'45.3"S e 51°02'41.5"W, área que se encontra a 371 metros acima do nível do mar. Anteriormente a cultura da cana ser instalada, cana planta, havia o cultivo da forrageira *Urochloa brizantha*. A planta em estudo foi a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), que estava no segundo ano de cultivo, em um sistema de produção chamado de primeira soca.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico de textura média, de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (SANTOS et al., 2018). O clima regional é caracterizado como Aw, segundo a classificação de Köppen e Geiger (Kottek et al., 2006), com estação chuvosa concentrada no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, concentrada entre os meses de outubro e março, com temperaturas médias anuais entre 21 °C e 26 °C.

A análise química de solo foi realizada no Laboratório de Fertilidade de solos do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química do solo da área estudo antes da instalação da cultura, na camada de 0 a 0,5 m em Suzanápolis, São Paulo, Brasil.

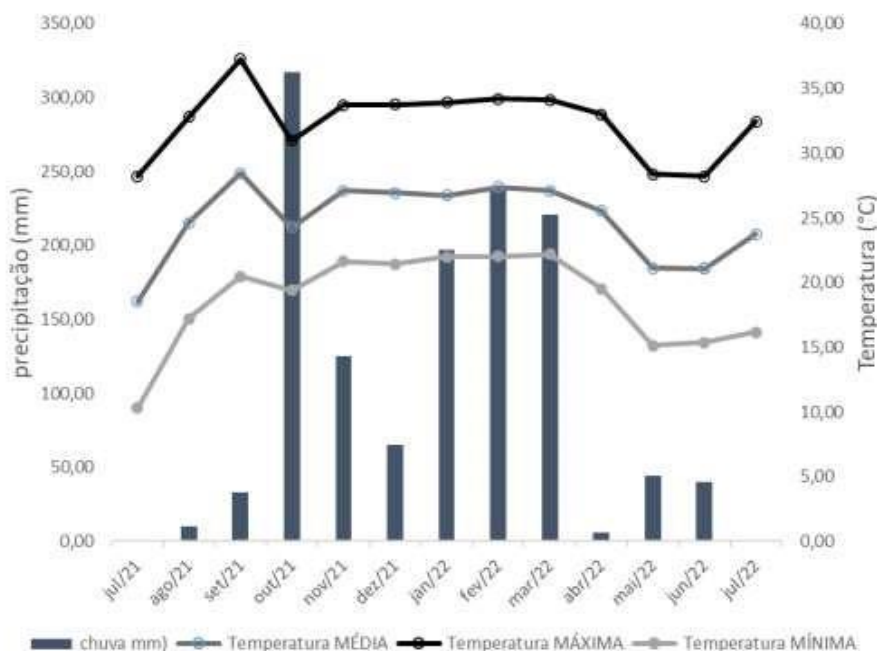
undidade(m)	P	MO	pH	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	S-SO ₄
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)								
0,00-0,25 m	7	12	4,9	3,1	4	4	15	1	11,1	6
0,25-0,50 m	4	11	5,1	5,1	6	4	15	0	15,1	5

undidade(m)	V	Ca/CTC	Mg/CTC	m	CTC	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%	mmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³					
0,00-0,25 m	43	15	15	6	26,1	0,19	0,8	39	6,6	0,5
0,25-0,50 m	50	20	13	0	30,1	0,15	0,8	20	4,6	0,2

Valores referentes à fósforo (P), Matéria Orgânica (MO), Potencial Hidrogênio iônico (pH), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+AL), alumínio (Al³⁺), soma de bases (SB), enxofre (S-SO₄), Saturação de Bases (V%), proporção de cálcio na CTC (Ca/CTC), proporção de magnésio na CTC (Mg/CTC), saturação de alumínio (m), capacidade de troca catiônica (CTC), boro (B⁻), cobre (Cu²⁺), ferro (Fe²⁺), manganês (Mn²⁺) e zinco (Zn²⁺). Fonte: André Luís Máximo da Silva.

As informações sobre o clima referentes ao período de condução do experimento, de julho de 2021 a julho de 2022, estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Médias da precipitação pluvial e temperaturas mínimas, máximas e médias. Suzanápolis – SP, 21/07/2021 a 25/07/2022.



Fonte: do autor.

3.1 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), dispostos em esquema fatorial 4x3, com quatro repetições, totalizando 48 parcelas. As parcelas tinham cinco linhas com 1,5 m entrelinha e cinco metros de comprimento, somando seis metros de largura, com área total da parcela de 30 m². Os tratamentos foram constituídos pelo Controle (Sem inoculação); inoculações isoladas das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP): *Azospirillum brasilense* (AZ), *Bacillus subtilis* (BS) e *Pseudomonas fluorescens* (PF); E três variedades de cana-de-açúcar sendo estas RB867515 (C1), CTC4 (C2) e RB92579 (C3), associados a redução de 25% da adubação de cobertura com Nitrogênio e Potássio utilizando o formulado 19-00-24, ou seja, a dose foi de 75% (397,5 kg ha⁻¹) do recomendado pela usina para cana soca.

Tabela 1- Comparação entre a dose recomendada (100%) e a dose aplicada (75%) do fertilizante 19-00-24, para a adubação da cana-soca

Parâmetro	Dose recomendada (100%)	Dose aplicada (75%)	Diferença absoluta (kg/ha)
Quantidade de fertilizante (kg ha ⁻¹)	530	397,5	132,5
Nitrogênio (N) aplicado (kg ha ⁻¹)	100,7	75,5	25,2
Potássio (K ₂ O) aplicado (kg ha ⁻¹)	127,2	95,4	31,8

Fonte: do autor.

3.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.2.1 Adubação e Inoculação

A cerca de um mês após a colheita da cana-planta, ocorrida em 16/08/2021, foi realizada a adubação da cana-soca com o fertilizante 19-00-24 (19% N e 24% K₂O), na dosagem de 397,5 kg ha⁻¹ (sendo 75% da dose recomendada) para a rebrota.

No dia 08/10/2021, 80 dias após a emergência (DAE), as bactérias *Azospirillum brasilense* com as cepas Abv5 e AbV6, (garantia de 2×10^8 unidades formadoras de colônia (CFU) ml⁻¹), na dose 1 L ha⁻¹; *Bacillus subtilis* com a cepa CCTB04, (garantia de 1×10^8 CFU ml⁻¹); *Pseudomonas fluorensis* com a cepa CCTB 03 (garantia de 2×10^8 CFU ml⁻¹). A aplicação das bactérias foi feita com uma bomba costal com volume de calda aplicado foi de 200 L ha⁻¹, diretamente em cima dos toletes de cana nos sulcos, nas recomendações de 1 L ha⁻¹ para o *Azospirillum brasilense* e 0,5 L ha⁻¹ para o *Bacillus*

subtilis e *Pseudomonas fluorescens*, baseadas nas recomendações dos fabricantes. A aplicação ocorreu no período da manhã e os sulcos de plantio foram cobertos de forma manual.

As inoculações foram feitas via pulverização manual sobre as mudas já dispostas no sulco. As testemunhas sem inoculação e as adubações convencionais foram mantidas para comparação dos efeitos.

Os tratos culturais para o controle de doenças, pragas e plantas daninhas foram realizados pela Usina Vale do Paraná durante todo o ciclo da cultura. A colheita, mecanizada e também realizada pela usina, ocorreu no dia 12/07/2022.

3.3 AVALIAÇÕES

A fim de se fazer concentração de N e K na folha diagnose da cana-de-açúcar, foi realizada a amostragem de folhas na fase de maior desenvolvimento vegetativo, aos 206 DAE (16/02/2022), sendo amostrado o terço médio de 10 folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível -"TVD"), excluindo-se a nervura central de 10 plantas ao acaso por parcela (RAIJ; CANTARELLA, 1997; MALAVOLTA et al., 1997). As amostras foram secas a uma temperatura de 65 °C por 72 horas em estufa de ventilação forçada, e depois moídas por um moinho do tipo Willey da marca Marconi, e levadas ao laboratório de nutrição de plantas da UNESP - Ilha Solteira para digestão (sulfúrica para N; nitroperclórica para K) e análise foliar (MALAVOLTA, VITTI E OLIVEIRA 1997).

As avaliações que foram realizadas neste estudo foram com base na produtividade, performance das plantas e a qualidade tecnológica. A aferição de altura de plantas (AP), número de perfilhos (NP), diâmetro médio de perfilhos (DP), número de internódios (NI), açúcar totalmente recuperável (ATR), teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (°Brix), % de fibra dos perfilhos (Fibra) foram analisados a fim de comprovar se houve interação das variedades de cana de açúcar com as bactérias inoculantes utilizadas.

No dia 206, DAE, (16/02/2022), com as plantas e seu maior estágio de desenvolvimento vegetativo ocorreu a primeira aferição da altura das plantas e contagem do número de perfilhos. A segunda avaliação foi feita no dia 29 de junho. A terceira avaliação na usina aconteceu nos dias 11 e 12 de julho, 351 DAE, também foi pesado os valores totais nas linhas das parcelas.

A estimação das alturas das plantas (AP) foi realizada em cinco perfilhos aleatórios na parcela dentro das três linhas centrais. A determinação do número de perfilhos (NP) em que foi contabilizado o número total destes, foi realizada dentro da linha das parcelas de cinco metros pré-estipulada antes da primeira avaliação, foi levado em consideração a homogeneidade e ausência de falhas na linha. Escolheu-se uma das três linhas centrais de cada parcela, foi contado o número de perfilhos total desta e cortado todos os perfilhos pela base, imitando a colheita mecanizada da linha de cinco metros. Os perfilhos foram despontados e desfolhados antes de quantificar o peso de colmos para a determinação do peso médio de colmos por parcela para o cálculo de toneladas de colmos por hectare (TCH).

A determinação da qualidade tecnológica da cana foi feita com ajuda do laboratório da Usina vale do Paraná, coletou-se 10 perfilhos por parcela, determinou-se o °Brix, Fibra, e ATR. O ATR foi utilizado com o TCH para o cálculo de toneladas de ATR por hectare (TAH).

Os resultados das avaliações foram divididos em duas etapas, sendo estas: os componentes de produção (AP, NP, DP, toneladas de colmos por hectare e toneladas de ATR por hectare); e qualidade tecnológica (°Brix, Fibra, Umidade e ATR)

Cinco colmos industrializáveis inteiros por parcela foram coletados aos 376 DAP para a biometria, esses foram desfolhados e despontados (a baixo do ponto de quebra da ponteira) em que foi medido a AP, NI e DP da base, meio e ponta dos colmos.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste *F*) e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação das médias das variedades e inoculação. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONCENTRAÇÃO DE N e K NA FOLHA DIAGNOSE DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para o teor de nitrogênio (N) na folha diagnose houve efeito da interação entre os fatores variedade e inoculação (Tabela 3). A concentração de potássio (K) não sofreu influência dos fatores (Tabela 3). Segundo Cantarella et al. (1997), a faixa adequada dos

nutrientes na folha diagnose seriam: N (18,0 – 25,0) e K (10,0 – 16,0) g kg⁻¹, notou-se que todos os tratamentos para ambos os nutrientes estão dentro da faixa adequada de nutrição.

Tabela 3- Concentrações de N e K na folha diagnose da 1ª cana-soca, em função de inoculações com BPCPs associada a diferentes variedades. Suzanópolis – SP, 2022.

	N	K
	(g kg ⁻¹)	
Variedade		
RB867515	18,41	14,72 a
CTC 4	20,67	15,83 a
RB92579	20,00	16,40 a
Inoculação		
S.I.	21,16	15,54 a
Azo	19,34	15,55 a
BAC	18,51	15,49 a
Pseud	19,76	15,67 a
Teste F		
Variedade (V)	**	ns
Inoculação (I)	**	ns
V x I	*	ns
CV (%)	5,16	9,06
Média Geral	19,69	15,56
DMS	1,04	1,44

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*).

ns: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste F; **: significativo a 1% pelo teste F.

Fonte: Próprio autor.

Na interação da inoculação e variedades para os teores de nitrogênio foliar (Tabela 4), na variedade RB92579 sem inoculação constatou-se o maior teor de N. Contrariando-se o resultado esperado, que seria variedade com uma inoculação de BPCP, este fato pode ser explicado devido as plantas sem inoculações crescerem menos, tendo assim uma maior concentração de N na parte analisada, enquanto as plantas inoculadas, supostamente maiores, podem ter seu teor de N mais diluído. O menor teor foliar de N na RB92579 foi obtido com a inoculação de *Bacillus subtilis*. Pode-se ainda acrescentar que para o teor N foliar, a variedade CTC 4 não foi influenciada pelas inoculações com BPCP. Para variedade RB867515, os maiores teores de N foliar foram verificados no controle e inoculação com *Bacillus subtilis*, o mesmo foi observado por Da Silva (2021), na cana planta.

Tabela 4 - Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades na folha diagnose da 1ª cana-soca, para o teor foliar de N, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022.

Concentração de N na folha (g kg ⁻¹)			
Inoculação	Variedade		
	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	19,83 a A	21,80 a A	21,85 a A
<i>Azo</i>	18,13 b AB	20,53 a A	19,37 ab BC
<i>Bac</i>	18,25 ab AB	19,97 a A	17,33 b C
<i>Pseud</i>	17,43 b B	20,40 a A	21,45 a AB
DMS	2,08		

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

4.2 ANÁLISE BIOMÉTRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

As análises biométricas altura e número de colmos foram coletadas nos meses de fevereiro (1ª avaliação), junho (2ª avaliação) e julho (3ª avaliação), no momento da terceira avaliação também houve a medição do diâmetro do colmo e a contagem de internódios (Tabela 5). Para todas as variáveis houve interação entre os fatores variedade e inoculação.

Tabela 5 – Média da Altura de plantas (Alt), número de colmos (Nº Colm.), diâmetro médio do colmo e número de internódios da 1ª cana-soca, em função de inoculações com BPCPs associada a diferentes variedades. Suzanápolis – SP, 2022.

	1ª Alt	3ª Alt	1ª	2ª	3ª N°	Diâmetro	Internódios
	(m)	(m)	N° Colm.	N° Colm.	Colm.	(mm)	
Variedade							
RB867515	2,14	3,15	61,70	68,62	67,98	27,10	21,83
CTC 4	2,16	3,04	99,69	68,24	66,93	23,57	20,37
RB92579	1,82	2,94	65,69	57,20	56,53	25,90	21,70
Inoculação							
<i>S.I</i>	2,03	3,02	77,11	71,16	69,44	26,52	21,83
<i>Azo</i>	2,07	3,15	74,94	61,27	60,43	25,68	21,44
<i>Bac</i>	1,97	2,92	77,09	64,66	63,77	24,15	21,61
<i>Pseud</i>	2,08	3,09	73,65	61,66	61,62	25,75	20,33
Teste F							
Variedade (V)	**	**	**	**	**	**	**
Inoculação (I)	ns	**	ns	**	**	**	*

Vx I	**	**	**	**	**	*	**
CV(%)	3,96	2,78	5,31	4,93	4,97	4,88	5,59
Média geral	2,04	3,04	75,70	64,69	63,81	25,52	21,30
DMS	0,07	0,07	3,48	2,76	2,75	1,08	1,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilense*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*).

ns: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste F; **: significativo a 1% pelo teste F.

Fonte: Próprio autor.

Para o desdobramento da inoculação dentro das variedades de cana-de-açúcar na primeira avaliação de altura (Tabela 6) os tratamentos que mais se destacaram alcançando as maiores médias foram a inoculação de *Azospirillum* nas variedades RB867515 e CTC4, enquanto que as menores médias foram encontradas na RB92579. Para a variedade CTC4 apenas a inoculação com o *Bacillus* foi inferior as demais estatisticamente, para a variedade RB867515 e RB92579 a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* foram superiores em altura de planta que o controle.

A maior média encontrada na 3ª avaliação de altura (Tabela 6) foi para a RB867515 inoculada com *Bacillus*, essa juntamente a inoculação com *Pseudomonas* foram superiores estatisticamente as demais inoculações para essa variedade. Para a CTC4 se destacou o tratamento sem inoculação, enquanto que para a RB92579 as maiores médias foram obtidas para a inoculação com *Azospirillum*. Demonstrando que cada variedade tem uma especificidade diferente com as bactérias.

Tabela 6- Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades da 1ª cana-soca, para 1 e 3ª avaliação de altura de plantas, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022.

1ª Altura de plantas (m)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	2,17 a AB	2,20 a A	1,72 b B
<i>Azo</i>	2,22 a A	2,22 a A	1,77 b AB
<i>Bac</i>	2,05 a B	2,00 a B	1,85 b AB
<i>Pseud</i>	2,13 a AB	2,20 a A	1,92 b A
DMS	0,14		
3ª Altura de plantas (m)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	2,75 c C	3,33 a A	2,95 b B
<i>Azo</i>	3,12 b B	3,06 b B	3,28 a A
<i>Bac</i>	3,39 a A	2,64 b C	2,74 b C
<i>Pseud</i>	3,34 a A	3,15 b B	2,78 c C
DMS	0,14		

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

Para o desdobramento dos fatores para o número de colmos nas três épocas de medição houve uma mudança de padrão da 1ª avaliação para a 2ª avaliação, mas que se manteve na avaliação de colheita (3ª avaliação) (Tabela 7).

Em fevereiro (1ª contagem), a variedade CTC4 inoculada com *Azospirillum* obteve a maior média de número de colmos, apenas a inoculação com *Bacillus* foi inferior estatisticamente as demais para a CTC4. Para a RB867515 a inoculação com *Pseudomonas* foi superior as demais inoculações. A RB92579 o tratamento sem inoculação e a inoculação com *Bacillus* foi superior estatisticamente (Tabela 7).

Nas demais avaliações (2 e 3ª contagem), houve um padrão, onde a RB867515 sem inoculação apresentou um maior número de colmos por linha, também apresentando um resultado superior estatisticamente as demais inoculações dessa variedade. Para a CTC4 a inoculação com *Azospirillum* foi superior estatisticamente aos demais tratamentos. Para a RB92579 apenas a inoculação com *Azospirillum* foi inferior as demais (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades da 1ª cana-soca, para 1ª, 2ª e 3ª de número de colmos, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022

1ª Número de colmos (em 5 m)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	58,83 c B	101,16 a A	71,33 b A
<i>Azo</i>	57,83 b B	105,5 a A	61,50 b B
<i>Bac</i>	63,00 c AB	90,50 a B	77,77 b A
<i>Pseud</i>	67,16 b A	101,62 a A	52,16 c C
DMS	6,97		
2ª Número de colmos (em 5 m)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	83,00 a A	67,81 b B	62,66 b A
<i>Azo</i>	60,66 b C	75,00 a A	48,16 c B
<i>Bac</i>	72,33 a B	60,83 b C	60,83 b A
<i>Pseud</i>	58,50 b C	69,33 a AB	57,16 b A
DMS	5,53		
3ª Número de colmos (em 5 m)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	83,00 a A	62,66 b B	62,66 b A
<i>Azo</i>	58,12 b C	75,00 a A	48,17 c B
<i>Bac</i>	72,33 a B	60,83 b B	58,16 b A
<i>Pseud</i>	58,50 b C	69,25 a A	57,12 b A
DMS	5,10		

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas

de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Próprio autor.

O diâmetro do colmo (Tabela 8) foi influenciado diretamente pela variedade, onde a CTC4 obteve a menor média entre as variedades. A RB867515 não diferiu estatisticamente entre as inoculações. Para a CTC4 apenas a controle (S.I) foi superior estatisticamente a inoculação com *Azospirillum*. Variedade RB92579 apenas a inoculação com *Bacillus subtilis* foi inferior aos demais tratamentos. (Tabela 8).

Para a variável internódios, a melhor resultado foi encontrado na RB867515 sem inoculação, sendo também o melhor resultado estatisticamente dentro da variedade para a inoculação. Para CTC4 todas as inoculações foram superiores ao tratamento controle, enquanto que para a RB9259 apenas a inoculação com *Azospirillum* foi superior as demais (Tabela 8).

Tabela 8 - Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades da 1ª cana-soca, para diâmetro médio do colmo e número de internódios por colmo, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022.

Diâmetro (mm)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	28,17 a A	24,88 b A	26,50 ab A
<i>Azo</i>	27,29 a A	22,42 b B	27,33 a A
<i>Bac</i>	26,30 a A	22,79 b AB	23,38 b B
<i>Pseud</i>	26,67 a A	24,21 b AB	26,37 a A
DMS	2,16		
Número de internódios por colmo			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	27,16 a A	16,00 c B	22,33 b AB
<i>Azo</i>	19,50 b B	21,33 b A	23,50 a A
<i>Bac</i>	21,00 b B	23,16 a A	20,66 b B
<i>Pseud</i>	19,66 a B	21,00 a A	20,33 a B
DMS	2,06		

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

4.3 VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS E PRODUTIVIDADE DE COLMOS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para as variáveis tecnológicas Brix, POL, Fibra, ATR, tonelada de colmos por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TAH) (Tabela 9) houve interação entre

os fatores variedade e inoculação. Entretanto, a pureza do caldo não foi influenciada por nenhum dos fatores estudados e nem pelas suas interações (Tabela 9).

Tabela 9 – Indicadores de qualidade tecnológica, produtividade de colmos (TCH) e produtividade de açúcar (TAH) da 1ª cana-soca, em função de inoculações com BPCPs associada a diferentes variedades. Suzanápolis – SP, 2022.

Variedade	Brix	POL	Pureza	Fibra	ATR	TCH	TAH
	(%)			(kg açúcar t ⁻¹ cana)		(t ha ⁻¹)	
RB867515	16,01	12,05	76,37 a	9,64	112	139	15,68
CTC 4	16,85	11,99	77,53 a	9,99	118	151	18,38
RB92579	16,33	12,39	76,45 a	9,59	112	131	14,86
Inoculação							
S.I	15,97	12,27	76,04 a	9,89	110	133	14,83
Azo	16,14	12,46	76,77 a	9,96	111	153	17,08
Bac	16,12	11,52	76,26 a	9,50	105	123	13,08
Pseud	17,36	12,32	78,05 a	9,61	130	152	20,23
Teste F							
Variedade (V)	*	ns	ns	ns	**	**	**
Inoculação (I)	**	**	ns	ns	**	**	**
Vx I	**	**	ns	**	**	**	**
CV (%)	4,67	4,15	4,45	5,56	4,09	2,77	4,91
Média geral	16,40	12,14	76,78	9,74	114,63	140,91	16,31
DMS	0,66	0,43	2,96	0,47	4,07	3,38	0,69

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

S.I. (sem inoculação); Azo (*Azospirillum brasilens 'e'*); Bac (*Bacillus subtilis*); Pseud (*Pseudomonas fluorescens*).

ns: não significativo; *: significativo a 5% pelo teste F; **: significativo a 1% pelo teste F.

Fonte: Própria autora.

O Brix expressa a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada impura, no caso, o caldo extraído da cana (FERNANDES, 2003). O maior valor encontrado foi para a variedade CTC4 inoculada com *Pseudomonas fluorescens* (Tabela 10), essa que foi superior a todos as inoculações para essa variedade. Para a variedade RB867515 a inoculação com *Bacillus subtilis* juntamente ao controle foram superiores as demais. A inoculação com *Pseudomonas fluorescens* foi inferior as demais para a variedade RB92579 (Tabela 10).

O Pol da cana indica toda sacarose aparente contida no caldo absoluto por cento de cana (Fernandes, 2003). A determinação do Pol é o principal fator considerado na avaliação da qualidade de cana para pagamento (Ripoli; Ripoli, 2004), de modo que, para a indústria, quanto mais elevados os valores de Pol, melhor o rendimento industrial. A cana imatura possui mais açúcares redutores, o que influencia negativamente neste

indicador (Santos et al. 2016). As melhores variedades foram a CTC4 e RB92579 para a variável Pol. A CTC4 seguiu o padrão do Brix, onde a inoculação com *Bacillus* e a controle foram superiores aos demais (Tabela 10). Para variedade RB92579 todas as inoculações foram superiores a controle. A inoculação com *Bacillus subtilis* foi estatisticamente superior em Brix que as demais para a variedade RB867515 (Tabela 10).

Tabela 10- Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades da 1ª cana-soca, para Brix, Pol e Fibra, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022.

Brix (%)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	15,64 a A	16,11 a B	16,16 a A
<i>Azo</i>	15,75 b A	15,60 b B	17,09 a A
<i>Bac</i>	16,54 a A	16,10 a B	15,72 a A
<i>Pseud</i>	16,13 b A	19,58 a A	16,36 b A
DMS	1,33		
Pol (%)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	11,68 b B	13,07 a A	12,06 b BC
<i>Azo</i>	11,95 b AB	12,11 b AB	13,33 a A
<i>Bac</i>	11,86 a AB	11,23 a B	11,48 a C
<i>Pseud</i>	12,72 a A	11,57 b B	12,68 a AB
DMS	0,87		
Fibra (%)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	10,07 a A	9,51 a B	10,11 a A
<i>Azo</i>	9,79 a A	9,84 a AB	10,26 a A
<i>Bac</i>	9,09 a A	9,75 a B	9,65 a A
<i>Pseud</i>	9,63 b A	10,86 a A	8,34 c B
DMS	0,94		

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

A % de fibra da cana no presente estudo atingiu o máximo de 10,86% (CTC4 inoculada com *Pseudomonas*) valores abaixo do padrão agroindustrial da cana-de-açúcar dentro (11-13%) encontrado em estudo anterior (Ripoli e Ripoli, 2009). Vale ressaltar que os valores de % de fibras não poderiam ultrapassar o valor máximo de 13%, para que não houvesse interferência negativa no momento da extração do caldo, fato este não observado no presente estudo. Renan et al. (2016) mostraram que o percentual de fibra de cana reflete na eficiência de extração do caldo, onde valores maiores de % de fibra

reduzem a eficiência de extração. Além disso, deve-se considerar que variedades de cana-de-açúcar com baixo teor de fibra são mais suscetíveis a danos mecânicos durante o corte e transporte prejudicando a %brix, Pol e ATR. Os valores da % de fibra ficaram abaixo do normal, para todas as variedades e inoculações (Tabela 10), isso contribuiu juntamente ao elevado porte para o tombamento das plantas no campo, prejudicando o desenvolvimento e colheita.

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, 2003). Os maiores ATRs foram encontrados para a CTC4 e RB867515 inoculados com *Pseudomonas* (Tabela 11), onde essa inoculação foi superior as demais inoculações para essas variedades. A RB92579 obteve o maior ATR quando inoculado com *Azospirillum* (Tabela 11).

A produtividade de colmos (TCH) da cana-de-açúcar foi influenciada por variedades, inoculação com BPCP e pela interação variedade e inoculação (Tabela 11). Sem inoculação com BPCP constatou-se maiores produtividades de colmos (TCH) de cana-de-açúcar das variedades RB92579 e CTC 4 (Tabela 11). Quando inoculado com BPCP, as maiores produtividades de colmos da variedade CTC4 foi com a inoculação de *Pseudomonas fluorescens*, para a variedade RB867515 com a inoculação de *Azospirillum brasilense* e para variedade RB92579 com a inoculação de *Bacillus subtilis* e sem inoculação com BPCP.

Existem alguns estudos obtiveram resultados contrastantes para *Azospirillum brasilense*, como foi possível ver na cultura do milho (Hungria et al., 2010; Bartchechen et al., 2010; Godoy et al., 2011), no presente trabalho a bactéria também teve resultado satisfatório para a produtividade na cana-de-açúcar, não sendo a melhor, mas tendo média relativamente mais alta que as demais quando associada a variedade RB867515, e também quando comparada com as demais inoculações dentro das variedades.

A produtividade de açúcar por hectare (TAH) seguiu o mesmo padrão que a produtividade de colmos por hectare, em que o maior TAH foi encontrado na variedade CTC4 inoculada com *Pseudomonas* (Tabela 11). Para a variedade RB867515 as melhores

inoculações foram com *Azospirillum* e *Pseudomonas*, enquanto que a RB92579 o controle e inoculação com *Azospirillum* se sobressaíram as demais (Tabela 11).

Tabela 11- Desdobramento da interação de inoculações com BPCPs dentro das variedades da 1ª cana-soca, para ATR, TCH e TAH, para a cultura da cana-de-açúcar. Suzanápolis – SP, 2022.

ATR (kg açúcar t ⁻¹ de cana)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	105 b B	117 a B	109 b BC
<i>Azo</i>	105 b B	110 ab BC	118 a A
<i>Bac</i>	106 a B	103 a C	107 a C
<i>Pseud</i>	131 b A	142 a A	116 c AB
DMS		8,14	
TCH (t ha ⁻¹)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	116 b D	141 a B	142 a A
<i>Azo</i>	177 a A	140 b B	141 b A
<i>Bac</i>	125 a C	124 a C	121 a B
<i>Pseud</i>	138 b B	199 a A	119 c B
DMS		6,76	
TAH (t ha ⁻¹)			
Variedade			
Inoculação	RB867515	CTC4	RB92579
<i>S.I</i>	12,33 b B	16,63 a B	15,54 a A
<i>Azo</i>	18,81 a A	15,62 b B	16,81 b A
<i>Bac</i>	13,31 a B	12,87 a C	13,07 a B
<i>Pseud</i>	18,28 b A	28,39 a A	14,00 c B
DMS		1,39	

Letras minúsculas comparação na entre linhas, letras maiúsculas comparação entre colunas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÕES

A inoculação de bactérias promotoras de crescimento, aliada à redução de 25% da adubação de cobertura com nitrogênio e potássio, mostrou-se tecnicamente viável para a cultura da cana-de-açúcar em condições de campo, sem comprometer o desenvolvimento agrônomico e a qualidade tecnológica das variedades avaliadas.

Para a variedade RB867515, a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* propiciou bons resultados para os parâmetros tecnológicos, entretanto a maior produtividade de colmos foi associada a inoculação com *Azospirillum brasilense*.

A CTC4 apresentou uma ótima afinidade quando inoculado com a *Pseudomonas fluorescens*, tanto para os parametros tecnológicos como para os biométricos da cana-de-açúcar.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* se sobressaiu para a variedade RB92579, proporcionando uma maior produtividade de colmos e açúcar por hectare.

Esses resultados reforçam a importância da seleção criteriosa de microrganismos para cada variedade, considerando a especificidade entre o material genético (Variedade) e bactéria promotora de crescimento de plantas.

Dessa forma, conclui-se que a inoculação com rizobactérias pode ser uma alternativa sustentável e eficaz para racionalizar o uso de fertilizantes minerais em cana-de-açúcar, contribuindo para a redução de custos e impactos ambientais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFZAL, A.; BANO, A. **Rhizobacterial inoculation modulates the performance of wheat cultivars under salt stress.** *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 27, p. 1–10, 2008.

AFZAL, A.; BANO, A. **Rhizobium and Phosphate Solubilizing Bacteria Improve the Yield and Phosphorus Uptake in Wheat (*Triticum aestivum* L.).** ***International Journal of Agriculture and Biology***, Faisalabad, v. 10, n. 1, p. 93-96, jan. 2008.

Disponível em:
 <https://www.researchgate.net/publication/228684375_Rhizobium_and_Phosphate_Solubilizing_Bacteria_Improve_the_Yield_and_Phosphorus_Uptake_in_Wheat_Triticum_aestivum>. Acesso em: 1 jul. 2025.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n.6, p. 711–728, 2013.

BHATT, R. *et al.* **Potassium Influencing Physiological Parameters, Photosynthesis and Sugarcane Yield in Subtropical India.** ***Sugar Tech***, New Delhi, v. 22, p. 883-892, 2020. DOI: 10.1007/s12355-020-00845-7. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s12355-020-00845-7>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

BONINI, C. S.; VIANNA, L. A. **Biocombustíveis e sustentabilidade: o papel da cana-de-açúcar no Brasil**. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 187–202, 2019.

BRAGA JUNIOR, R. L. C. et al. **Censo Varietal IAC de Cana-de-Açúcar no Brasil - Safra 2019/20 e na Região Centro-Sul - Safra 2020/21**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2021. (Série Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 226). Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacbt226.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2025.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. **Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas**. ***Ciência Rural***, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/fgh7ZhdCGrrHMSF6XZsS8ZK/>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

CADORE, R. et al. **Application methods of Azospirillum brasilense in first- and second-crop corn**. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 23, n. 11, p. 840-846, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p840-846>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n11p840-846

CANTARELLA, H. et al. Nitrogênio no solo e na planta. In: FERREIRA, M. E. et al. (org.). **Nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Instituto Agrônômico, 2017. p. 375–446.

CANTARELLA, H. et al. Nitrogênio. In: RAIJ, B. van et al. (org.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas: IAC, 2002. p. 190–198.

CANTARELLA, H. et al. **Sugarcane response to nitrogen rates, measured by a canopy reflectance sensor**. ***Scientia Agricola***, Piracicaba, v. 74, n. 6, p. 451-457, nov./dez. 2017. DOI: 10.1590/1678-992X-2016-0060. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sa/a/Gbnqw7pVYWTw48xLhBT8Pmz/>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

CASSÁN, F. et al. **Azospirillum brasilense and other PGPR as inoculants for plant growth promotion in agricultural systems.** *Symbiosis*, v. 48, p. 1–13, 2009.

CASSÁN, F. et al. **Azospirillum brasilense Az39 and Bradyrhizobium japonicum E109 promote seed germination and early seedling growth independently or co-inoculated in maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.).** *European Journal of Soil Biology*, Paris, v. 45, n. 1, p. 28-35, jan. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1164556308001064>. Acesso em: 1 jul. 2025

CHANWAY, C. P. **Inoculation of tree roots with plant growth promoting soil bacteria: an emerging technology for reforestation.** *Forest Science*, Bethesda, MD, v. 43, n. 4, p. 579-587, 1997.

COELHO, L. C. et al. **Application of Endophytic *Pseudomonas fluorescens* and a Bacterial Consortium to Promote Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.).** *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 8, p. 2193, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.02193. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02193>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

COELHO, L. F. et al. **Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1413-1420, nov./dez. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/br355vJ8FydcjpHNz8tzkFh/>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2024/25 – 3º levantamento.** Brasília: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 1 jul. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2025/26, 1º levantamento.** Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/1o-levantamento-safra-2025-26/boletim-cana-de-acucar-4o-levantamento-2025-26>. Acesso em: 1 jul. 2025.

COMPANT, S. et al.. **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, set. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

CONSECANA-SP. Conselho de Produtores de Cana, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo. *Manual de instruções: versão 2022*. Piracicaba, 2022. 70 p.

CORNELIS, P. (Ed.). ****Pseudomonas: Genomics and Molecular Biology****. Norfolk (United Kingdom): Caister Academic Press, 2008.

EMBRAPA. Cana: Extração. [S. l.]: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cana/pos-producao/processamento-da-cana-de-acucar/extracao>. Acesso em: 1 jul. 2025.

FERNANDES, A.C.: **Cálculos na agroindústria canavieira**. Piracicaba: STAB, 2003, 240 p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR: um sistema computacional de análise estatística**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Agricultural production statistics 2000–2021**. Rome: FAO, 2022. (FAOSTAT Analytical Brief, 60). Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 1 jul. 2025.

GLICK, B. R. **Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications**. *Scientifica*, [S.l.], v. 2012, Article ID 963401. DOI: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>

GOUDA, S. et al. **Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture**. ***Microbiological Research***, v. 206, p. 131-140, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1016/j.micres.2017.08.016

HARPER, J. E. Nitrogen Metabolism. In: BLAKE, G. A.; STEWART, B. A. (Ed.). ****Physiology and Determination of Crop Yield****. Madison: ASA, CSSA, and SSSA, 1994. p. 329-352.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; FATHI ABD_ALLAH, E. **A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress**. ****Saudi Journal of Biological Sciences****, v. 26, n. 6, p. 1327-1332, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.05.004

HUNGRIA, M. et al. **Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Circular Técnica, 35)

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim Técnico 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas: IAC, 2002.

KOTTEK, M. et al. **World map of the KÖPPEN-GEIGER Climate classification updated**. **METEOROLOGISCHE ZEITSCHRIFT**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LINO, A. C. M. **Fixação biológica de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar com Azospirillum brasilense e na compatibilidade com agroquímicos**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21461>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.14393/ufu.di.2018.739

MACEDO, Isaias de Carvalho (Org.). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. 2. ed. São Paulo: Berlendis & Vertecchia; UNICA, 2007.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MATIRU, V. N.; DAKORA, F. D. **Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops**. ****African**

Journal of Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2004. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/14984>. Acesso em: 1 jul. 2025.

MENDES, R. et al. **Harnessing microbial communities for plant health: what do we know and where to go?** *Current Opinion in Plant Biology*, [S.l.], v. 60, p. 102006, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.102006>

MIFLIN, B. J.; LEA, P. J. **The pathway of nitrogen assimilation in plants.** *Phytochemistry*, Oxford, v. 15, n. 6, p. 873-885, 1976. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)84362-9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031942200843629>. Acesso em: 1 jul. 2025.

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. **Root-associated Azospirillum species can stimulate plants.** *ASM News*, v. 63, p. 366–370, 1997. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004658000815>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1023/A:1004658000815

OLIVEIRA, A. D. et al. **Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho.** *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276229077_Fontes_de_fosforo_associadas_a_inoculacao_com_Pseudomonas_fluorescens_no_desenvolvimento_e_produtividade_d_o_milho. Acesso em: 1 jul. 2025.

OLIVEIRA, L. M. et al. **Characterization of *Pseudomonas* bacteria of *Piper tuberculatum* regarding the production of potentially bio-stimulating compounds for plant growth.** *Acta Amazonica*, Manaus, v. 51, n. 1, p. 10-18, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/q5PZqmqzgj3y9sq7r6TC5sWL/?lang=en>. Acesso em: 1 jul. 2025.

PEDRINHO, E. A. N. **Isolamento e caracterização de bactérias promotoras de crescimento em milho (*Zea mays* L.).** 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103918>. Acesso em: 1 jul. 2025.

PURCINO, A. A. C. et al. **Kernel weight was not affected**. In: INTERNATIONAL MAIZE CONFERENCE, 7., 2000 [S. l.: s. n.], 2000.

QUEIROZ, M. V. et al. **Visualização in vitro da colonização de raízes por rizobactérias**. ***Summa Phytopathologica***, Botucatu, v. 32, n. 1, p. 95-97, jan./mar. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262635134_In_vitro_visualization_of_colonization_of_roots_by_rhizobacteria>. Acesso em: 1 jul. 2025.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2002.

REGO, E. **Brasil é o segundo maior produtor de biocombustíveis do mundo**. Exame, ESG, 3 jul. 2024. Disponível em: <https://exame.com/esg/brasil-e-o-segundo-maior-produtor-de-biocombustiveis-do-mundo/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p. ISBN: 85-89984-01-9.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa da cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Piracicaba: Os autores, 2009. 333 p.

ROSOLEM, C. A. et al. **Potassium leaching as affected by soil texture and potassium availability**. ***Scientia Agricola***, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 385-391, jul./ago. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262759831_Potassium_leaching_as_affected_by_soil_texture_and_potassium_availability>. Acesso em: 1 jul. 2025.

RYAN, R. P. et al. **Bacterial Endophyte Colonization and Distribution within Plants. Microorganisms**, Basileia, v. 5, n. 4, p. 77, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5748586/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SCUDELETTI, D. et al. **Azospirillum brasilense e Bacillus subtilis associados à adubação nitrogenada na produtividade da cana-de-açúcar.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 58, e03652, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-204X-IB48134>

SCUDELETTI, D. et al. **Biological nitrogen fixation in sugarcane: contributions, challenges and future perspectives.** *Agronomy*, Basel, v. 13, n. 1, p. 28, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010028>

SCUDELETTI, D. et al. **Inoculation with Azospirillum brasilense as a strategy to enhance sugarcane biomass production and bioenergy potential.** ***European Journal of Agronomy***, v. 144, 126749, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126749>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1016/j.eja.2023.126749

SCUDELETTI, L. et al. **Combining plant growth-promoting bacteria as a tool to improve the metabolism and productivity of sugarcane.** *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 225, p. 109980, ago. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S098194282500508X>. Acesso em: 1 jul. 2025.

SHIN, J. H. et al. **Biological Nitrogen Fixation: Importance, Associated Diversity, and Estimates.** In: ARORA, N. K. (Ed.). ***Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances***. New Delhi: Springer India, 2013. p. 267-289. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-1287-4_10. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1007/978-81-322-1287-4_10

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. **Physical Chemistry of Soil Potassium.** In: MUNSON, R. D. (Ed.). ***Potassium in Agriculture***. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1985. p. 201-276.

STEIN, T. **Bacillus subtilis antibiotics: structures, syntheses and specific functions.** ***Molecular Microbiology***, v. 56, n. 4, p. 845-857, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x

SU, Y. et al. **Bacillus subtilis: a universal cell factory for industry, agriculture, biomaterials and medicine.** *Microbial Cell Factories*, v. 19, n. 1, p. 173, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01436-8>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1186/s12934-020-01436-8

SWARNALAKSHMI, K. et al. **Significance of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Grain Legumes: Growth Promotion and Crop Production.** ***Frontiers in Plant Science***, v. 11, 587820, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587820>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.3389/fpls.2020.587820

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (UNICA). **Produção de etanol ultrapassa 32 bilhões de litros.** *Notícias*, 15 jan. 2025. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/producao-de-etanol-ultrapassa-32-bilhoes-de-litros/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (USDA FAS). **Brazil: Biofuels Annual.** Washington, DC: USDA FAS, 2020. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-biofuels-annual-6>. Acesso em: 1 jul. 2025.

WATANABE, I.; LIN, C. **Response of Wetland Rice to Inoculation with Azospirillum lipoferum and Pseudomonas sp.** ***Soil Science and Plant Nutrition***, v. 30, n. 1, p. 117-124, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00380768.1984.10434712>. Acesso em: 1 jul. 2025. DOI: 10.1080/00380768.1984.10434712

ZHANG, H. et al. **Nitrogen use efficiency in crops: lessons from basic research and breeding.** *The Crop Journal*, v. 8, n. 6, p. 888–899, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.07.008>

ZHANG, M. et al. **Long-Term Effects of Different Nitrogen Levels on Growth, Yield, and Quality in Sugarcane.** ***Agronomy***, Basel, v. 10, n. 3, p. 353, mar. 2020. DOI: 10.3390/agronomy10030353. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/3/353>. Acesso em: 1 jul. 2025.