

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

ANA LAURA TOPANOTT NUNES

**BACTÉRIAS PROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.) PROMOVEM
O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MILHO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2025

ANA LAURA TOPANOTT NUNES

**BACTÉRIAS PROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.) PROMOVEM
O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães

Linha de pesquisa: Manejo de culturas

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2025

Topanott Nunes, Ana Laura
BACTÉRIAS PROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.)
PROMOVEM O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MILHO / Ana
Laura Topanott Nunes; orientador Vandeir Francisco
Guimarães; coorientador Jeferson Klein e Gabriel
Dequigiovanni . -- Marechal Cândido Rondon, 2025.
49 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal
Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2025.

1. germinação. 2. bioprospeção. 3. bactérias promotoras de
crescimento vegetal. 4. desenvolvimento inicial. I. Francisco
Guimarães, Vandeir , orient. II. , Jeferson Klein e Gabriel
Dequigiovanni, coorient. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



ANA LAURA TOPANOTT NUNES

Bactérias prospectadas da tiririca (*Cyperus rotundus* L.) promovem o desenvolvimento de plantas de soja e milho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, sob a orientação do professor Vandeir Francisco Guimarães, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
FABIOLA VILLA
Data: 30/07/2025 11:05:28-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Fabiola Villa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)
(Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Agronomia)

Documento assinado digitalmente
ODAIR JOSE KUHN
Data: 31/07/2025 09:19:53-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Odair José Kuhn

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Documento assinado digitalmente
PATRICIA DAYANE CARVALHO SCHAKER
Data: 31/07/2025 10:54:31-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Patricia Dayane Carvalho Schaker

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Marechal Cândido Rondon, 28 de julho de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico à conclusão desta pesquisa à minha família e à ciência.

AGRADECIMENTOS

A toda a minha família, que sempre esteve presente e jamais me deixou faltar nada nessa vida, especialmente ao meu esposo Vinicius Ramos das Neves, pela confiança no meu progresso e todo apoio prestado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães, por ter me acolhido do início ao final desta trajetória, por estar sempre presente desempenhando tal função, com enorme dedicação. Por ter me orientado não só como profissional, mas também como ser humano. Por ser paciente e por estar sempre trazendo novos ensinamentos, sempre apoiando, se preocupando e indicando o rumo que o trabalho deveria tomar.

Aos meus melhores amigos Elmar José Hentz Junior e Paulo Demarchi que sempre estiveram presente durante os momentos difíceis e sempre me apoiaram e torceram para mim. Aos meus amigos e companheiros de estudo Guilherme Sackser, Paulo Vitor Muniz e a Larissa Kiahara. À minha querida Lilyane Pires, pelo companheirismo e apoio nos momentos árduos de escrita e estudo. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem meu eterno agradecimento.

A todos os professores, que acompanharam minha jornada acadêmica de perto e me deram muito apoio e muitos ensinamentos em sala de aula, guiando o aprendizado e contribuindo significativamente para meu processo de formação profissional.

A toda equipe do Grupo de Estudos de Fisiologia Vegetal (GEFIP) por todo o apoio prestado na execução dos experimentos. Especialmente ao Guilherme Sackser, ao André Silas e ao Roberto Cecatto Júnior. Trabalhar ao lado de cada um de vocês foi uma experiência muito enriquecedora.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná, que ao longo da minha formação ofereceu um ambiente de estudo agradável e motivador e toda a estrutura necessária a realização desse estudo.

Por fim, deixo uma palavra de gratidão a todas as pessoas que de alguma forma transmitiram força e confiança em mim.

"O homem tem apenas de descobrir uma lei científica da natureza para se considerar imediatamente mais poderoso."

— **Fiódor Dostoiévski.**

RESUMO

NUNES, Ana Laura Topanott. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. **BACTÉRIAS PROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.) PROMOVEM O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MILHO.** Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) formam um vasto grupo de microrganismos, que, quando associados com plantas, apresentam grande potencial a ser aproveitado, pois proporcionam benefícios ao crescimento e desenvolvimento de várias espécies vegetais. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi estudar a interação de BPCV, bioprospectadas e isoladas da tiririca (*Cyperus rotundus* L.), na germinação e desenvolvimento de plantas de soja e milho. Foram conduzidos três ensaios para ambas as culturas. Foi realizado ensaio em câmara BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) e em casa de vegetação. Para o experimento em BOD e bandeja com areia, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e cinco repetições, sendo: T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 - *B. licheniformes* (SC19_1); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E). O delineamento utilizado no ensaio em vasos foi em blocos ao acaso, com os seis tratamentos que mais se destacaram nos experimentos de germinação e desenvolvimento inicial: T1 - controle; T2 - *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 - *Bacillus* sp.; T9 - *B. subtilis* e T10 - *B. zhangzhouensis* e com seis repetições. Para o ensaio em BOD foram avaliados a percentagem de germinação em primeira e segunda contagem, percentagem de plântulas normais, anormais e de sementes mortas e o índice de velocidade de germinação (IVG). No desenvolvimento inicial avaliou-se o índice de velocidade de emergência (IVE), porcentagem de germinação, desenvolvimento inicial das plantas, teor relativo de clorofila, área foliar, altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento da raiz e massa seca da parte aérea e raiz. No ensaio em vasos foram avaliadas características morfométricas, teor relativo de clorofila, trocas gasosas, número de fileiras por espiga e número de grãos por espiga para a cultura de milho e para soja, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem. Em soja, no teste em BOD, T10, T4, T7, T6 e T3 apresentaram maior desempenho na primeira contagem em relação ao controle (T1), sem diferenças significativas nas demais variáveis. Em areia, T9 se destacou com maiores valores de primeira contagem, segunda contagem e IVE, sendo superior a T1; T8, T7, T6 e T4 apresentaram maior altura de planta; T9 teve maior comprimento de raiz e diâmetro de caule; T7 apresentou maior área foliar e massa seca da parte aérea; e T10 maior massa seca de raiz. Em vaso, T2 apresentou maior massa de cem grãos e T6 a maior taxa de assimilação líquida de CO₂, sendo superior a T2 e T5. Para milho, em BOD, o maior percentual de plântulas normais foi observado em T1, com desempenho intermediário em T6 e T9, enquanto T7 e T4 apresentaram maiores proporções de plântulas anormais. Em areia, T7 obteve maiores valores de altura e comprimento de raiz; T8, maior área foliar e massa seca da parte aérea; T3, maior massa seca de raiz; e T10, maior diâmetro de colmo. Em vaso, todos os tratamentos com inoculante superaram o controle em altura de planta; T6 teve a maior área foliar, superior a T9 e T10; T9 apresentou o maior número de fileiras por espiga; e T2 obteve a maior fotossíntese líquida, superior apenas a T10. Conclui-se que *B. subtilis* foi promissora no desenvolvimento inicial das sementes de soja; *B. zhangzhouensis* e *B. licheniformes* melhoraram características morfométricas da planta em substrato pobre; e *A. brasilense* elevou a produção de grãos. Para o milho, *B. licheniformes* promoveu o crescimento vegetal, com aumento na altura, comprimento de raiz, área foliar e massa seca da parte aérea, enquanto *Terribacillus* sp. favoreceu o acúmulo de massa seca de raiz.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; Bactérias promotoras de crescimento vegetal; Bioprospecção; Germinação; primeira contagem.

ABSTRACT

NUNES, Ana Laura Topanott. Western Paraná State University. **BACTERIA ISOLATED FROM PURPLE NUTSEDGE (*Cyperus rotundus* L.) PROMOTE GROWTH OF SOYBEAN AND MAIZE PLANTS.** Advisor: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

Plant growth-promoting bacteria (PGPB) constitute a broad group of microorganisms which, when associated with plants, exhibit significant potential due to the benefits they confer to the growth and development of various plant species. This study aimed to evaluate the interaction of PGPB, bioprospected and isolated from purple nutsedge (*Cyperus rotundus* L.), on the germination and development of soybean and maize plants. Three trials were conducted for both crops, including experiments in a BOD (Biochemical Oxygen Demand) chamber and a greenhouse. The BOD and sand tray experiments followed a completely randomized design with 10 treatments and five replicates: T1 - control; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformis* (SN33); T8 – *B. licheniformis* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E); and T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E). The pot experiment was set up in a randomized block design with six treatments selected based on previous germination and early development performance: T1 - control; T2 – *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 – *Bacillus* sp.; T9 – *B. subtilis*; and T10 – *B. zhangzhouensis*, with six replicates. In the BOD test, germination percentage (first and second count), percentage of normal, abnormal, and dead seedlings, and germination speed index (GSI) were assessed. In the early development phase, emergence speed index (ESI), germination percentage, initial plant growth, relative chlorophyll content, leaf area, plant height, stem diameter, root length, and shoot and root dry mass were evaluated. In the pot trial, morphometric traits, relative chlorophyll content, gas exchange, number of rows per ear and grains per ear (maize), and number of pods per plant and grains per pod (soybean) were measured. In soybean, in the BOD test, T10, T4, T7, T6, and T3 showed superior performance in the first count compared to the control (T1), with no significant differences in other variables. In sand, T9 showed higher values in first count, second count, and ESI, outperforming T1; T8, T7, T6, and T4 promoted greater plant height; T9 had greater root length and stem diameter; T7 showed higher leaf area and shoot dry mass; and T10 resulted in greater root dry mass. In

pots, T2 showed the highest hundred-grain weight, and T6 the highest CO₂ net assimilation rate, outperforming T2 and T5. For maize, in BOD, the highest percentage of normal seedlings was observed in T1, with intermediate performance from T6 and T9, while T7 and T4 showed a higher proportion of abnormal seedlings. In sand, T7 showed greater plant height and root length; T8, greater leaf area and shoot dry mass; T3, higher root dry mass; and T10, larger stem diameter. In pots, all inoculated treatments outperformed the control in plant height; T6 had the greatest leaf area, outperforming T9 and T10; T9 had the highest number of rows per ear; and T2 showed the highest net photosynthetic rate, outperforming only T10. It is concluded that *B. subtilis* was promising for early soybean seed development; *B. zhangzhouensis* and *B. licheniformis* enhanced morphometric traits in nutrient-poor substrates; and *A. brasilense* increased grain yield. In maize, *B. licheniformis* promoted plant growth by increasing plant height, root length, leaf area, and shoot biomass, while *Terribacillus* sp. enhanced root biomass accumulation.

Keywords: *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; Plant growth-promoting bacteria; Bioprospecting; Germination; First count.

RESUMEN

NUNES, Ana Laura Topanott. Universidad Estatal del Oeste de Paraná. **BACTERIAS AISLADAS DE LA COQUILLOSA (*Cyperus rotundus* L.) PROMUEVEN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE SOJA Y MAÍZ.** Director: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) constituyen un amplio grupo de microorganismos que, al asociarse con plantas, presentan un gran potencial al proporcionar beneficios al crecimiento y desarrollo de diversas especies vegetales. El objetivo de este estudio fue evaluar la interacción de BPCV, bioprospectadas y aisladas de la coquillosa (*Cyperus rotundus* L.), sobre la germinación y el desarrollo de plantas de soja y maíz. Se realizaron tres ensayos para ambos cultivos, incluyendo experimentos en cámara BOD (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y en invernadero. Los ensayos en BOD y bandejas con arena siguieron un diseño completamente al azar con 10 tratamientos y cinco repeticiones: T1 - control; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformis* (SN33); T8 – *B. licheniformis* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E); y T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E). El experimento en macetas se llevó a cabo en un diseño en bloques al azar con seis tratamientos seleccionados con base en los mejores

resultados en germinación y desarrollo inicial: T1 - control; T2 – *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 – *Bacillus* sp.; T9 – *B. subtilis*; y T10 – *B. zhangzhouensis*, con seis repeticiones. En el ensayo BOD se evaluaron el porcentaje de germinación en primera y segunda cuenta, porcentaje de plántulas normales, anormales y semillas muertas, e índice de velocidad de germinación (IVG). En el desarrollo inicial se evaluaron el índice de velocidad de emergencia (IVE), porcentaje de germinación, crecimiento inicial de plantas, contenido relativo de clorofila, área foliar, altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz y masa seca de la parte aérea y de la raíz. En macetas se evaluaron características morfométricas, contenido relativo de clorofila, intercambio gaseoso, número de hileras por mazorca y número de granos por mazorca (maíz), y número de vainas por planta y número de granos por vaina (soja). En soja, en BOD, T10, T4, T7, T6 y T3 destacaron en la primera cuenta respecto al control (T1), sin diferencias significativas en otras variables. En arena, T9 presentó mayores valores en primera cuenta, segunda cuenta e IVE, superando a T1; T8, T7, T6 y T4 promovieron mayor altura de planta; T9 tuvo mayor longitud de raíz y diámetro de tallo; T7 mostró mayor área foliar y masa seca aérea; y T10 mayor masa seca de raíz. En macetas, T2 presentó mayor masa de cien granos y T6 la mayor tasa de asimilación neta de CO₂, superando a T2 y T5. Para maíz, en BOD, el mayor porcentaje de plántulas normales fue observado en T1, con desempeño intermedio en T6 y T9, mientras que T7 y T4 presentaron mayor proporción de plántulas anormales. En arena, T7 mostró mayor altura de planta y longitud de raíz; T8, mayor área foliar y masa seca aérea; T3, mayor masa seca de raíz; y T10, mayor diámetro de tallo. En macetas, todos los tratamientos con inoculantes superaron al control en altura de planta; T6 presentó mayor área foliar, superando a T9 y T10; T9 tuvo mayor número de hileras por mazorca; y T2 mostró la mayor fotosíntesis neta, superando solamente a T10. Se concluye que *B. subtilis* fue prometedora en el desarrollo inicial de semillas de soja; *B. zhangzhouensis* y *B. licheniformis* mejoraron las características morfométricas en sustrato pobre; y *A. brasilense* aumentó la producción de granos. En maíz, *B. licheniformis* promovió el crecimiento vegetal aumentando la altura, longitud de raíz, área foliar y biomasa aérea, mientras que *Terribacillus* sp. favoreció el acúmulo de biomasa radicular.

Palabras clave: *Glycine max* L.; *Zea mays* L.; Bacterias promotoras del crecimiento vegetal; Bioprospección; Germinación; Primera cuenta.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) e o milho (*Zea mays* L.) são as commodities mais importantes produzidas no Brasil e são amplamente utilizadas na alimentação humana e animal. O Brasil é o maior produtor mundial de soja e consolidado como terceiro maior produtor mundial de milho (FAO, 2025; USDA, 2025).

A produção dessas commodities está fortemente associada ao uso intensivo de fertilizantes químicos. Nesse contexto, diversos estudos têm investigado a inoculação de microrganismos benéficos em diferentes culturas, com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre o desempenho agrônomico e a eficiência produtiva. Entre os microrganismos estudados destacam-se as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), cuja aplicação na forma de inoculantes tem se consolidado como uma estratégia promissora para reduzir parcial ou totalmente a dependência de fertilizantes minerais (SANTOS et al., 2019).

A utilização de inoculantes formulados com bactérias promotoras de crescimento vegetal é uma alternativa economicamente benéfica e sustentável para a amenização dos efeitos deletérios causados por diferentes estresses (POUDEL et al., 2021; ARMANHI et al., 2021). São capazes de estimular o desenvolvimento radicular, proporcionando a exploração de maior volume de solo (AKINRINLOLA et al., 2018; BARROS et al., 2020; CHAGAS et al., 2021) e permitindo maior absorção de água e nutrientes pelas raízes (RONDINA et al., 2020). Sua atuação se dá pelo estímulo e pela produção de fito hormônios, como auxinas, especialmente o ácido indolacético (AIA), um dos principais hormônios vegetais envolvidos no crescimento e desenvolvimento radicular e pela produção de citocinina e giberelina (FUKAMI et al., 2017). As citocininas promovem a divisão celular e retardam o envelhecimento, enquanto as giberelinas estimulam o crescimento vegetativo, incluindo o alongamento de caules e folhas, e a germinação de sementes (TAIZ, 2017). Além disso, podem atuar no biocontrole, criando um ambiente antagônico e atuando no controle biológico de patógenos e podem auxiliar na resistência a estresses bióticos e abióticos das plantas inoculadas (HUNGRIA et al., 2016; GIROLKAR et al., 2021).

Dentre os gêneros de BPCV que são estudados estão *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bradyrhizobium*, *Bacillus*, *Terribacillus* e *Pantoea* que possuem a capacidade de estimular o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos (MISHRA et al., 2011; LIM et al., 2014; BULEGON et al., 2016; SALOMON et al., 2016). Algumas de suas espécies quando inoculadas na cultura da soja, estimulam o aumento da nodulação das raízes, permitindo que a planta fixe o nitrogênio do ar, sendo vantajoso tanto para a planta quanto para o ambiente,

reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e o aumentando o rendimento dos grãos da cultura (MORETTI et al., 2018; SANTACHIARA et al., 2019; ORTIZ-BARBOSA et al., 2023).

Quando inoculadas em milho, as BPCV têm demonstrado capacidade de gerar aumento médio no rendimento de grãos (BARBOSA et al., 2022), além de potencializar o crescimento da parte aérea e das raízes, resultando em aumento da exploração de volume do solo (JU et al., 2020; ZHANG et al., 2021), além disso, podem aumentar a porcentagem de germinação, o índice de vigor de plântulas e o índice de emergência (AGBODJATO et al., 2016). Desta forma, a hipótese dessa pesquisa é que sementes de soja e milho, quando inoculadas com as BPCVs isoladas da tiririca (*C. rotundus* L.) apresentam incremento na velocidade de germinação, no crescimento de plântulas e na produção de grãos. Objetivou-se verificar quais os efeitos da interação entre as bactérias isoladas da Tiririca quando inoculadas em sementes de soja e milho e verificar se há efeito no desenvolvimento inicial, nas características morfométricas, fisiológicas e produtivas.

2 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, devido ao seu elevado teor de proteína (cerca de 40%) e óleo (cerca de 20%) em seus grãos, o que a torna essencial na alimentação humana e animal, além de ser matéria-prima para diversos produtos industriais. No Brasil, a soja representa o principal produto do agronegócio, representando quase metade da produção nacional de grãos e com previsão de 173 milhões de toneladas para a safra 2025/26 (USDA, 2025).

Os ciclos fenológicos da soja são descritos com base no sistema proposto por Fehr e Caviness (1977), que divide o desenvolvimento da planta em duas fases principais: vegetativa (V) e reprodutiva (R). A fase vegetativa inicia-se na emergência (VE), seguida pelo estágio de cotilédone (VC), e continua com estágios numerados (V1, V2, V3...), representando o número de nós com folhas trifoliadas completamente expandidas no caule principal. A fase reprodutiva começa com o início da floração (R1), seguido pela plena floração (R2), formação inicial de vagens (R3), vagens desenvolvidas (R4), início da formação de grãos (R5), grãos totalmente formados (R6), início da maturidade fisiológica (R7) e, por fim, a maturidade completa (R8), quando 95% das vagens apresentam coloração de maturação. Esse sistema é amplamente

utilizado por pesquisadores e produtores para monitorar e manejar a lavoura de forma precisa ao longo do ciclo da cultura (FEHR; CAVINESS, 1977).

Seu ciclo fenológico bem definido, aliado à alta resposta ao manejo tecnológico, permite que seja cultivada em rotação com outras culturas, como o milho e o trigo, maximizando o uso da terra e dos recursos naturais (MICHTA et al., 2023). Além disso, sua capacidade de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio permite um suprimento eficiente de nutrientes, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada e promovendo maior sustentabilidade. No entanto, seu crescimento pode ser sensível a estresses abióticos, como deficiência hídrica, salinidade e temperaturas extremas, os quais afetam diretamente a fotossíntese, a nodulação e o enchimento dos grãos (MIRANSARI, 2016). Por isso, práticas de manejo adequadas e estratégias de melhoramento são essenciais para garantir sua produtividade em diferentes condições edafoclimáticas.

2.2 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.), gramínea pertencente à família Poaceae, é um cereal oriundo da América Central e é consolidado como terceiro maior produtor mundial de milho (FAO, 2025; USDA, 2025), com mais de 150 espécies são destinadas ao consumo humano e ração animal (ABIMILHO, 2021). Trata-se de uma importante fonte de nutrição humana (KUMAWAT et al., 2020) e animal, além disso, serve de matéria prima para a produção de produtos como polímeros e biocombustíveis (MIRANDA, 2018).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, a produção mundial de milho ultrapassou 1,2 bilhão de toneladas em 2023, cultivada em mais de 205 milhões de hectares (FAOSTAT, 2024). Segundo o 10º Levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) em julho de 2025, a expectativa é de 132 milhões de toneladas de milho, representando um crescimento de 14,3% em relação ao ciclo anterior.

O ciclo fenológico do milho é classificado em duas fases principais: vegetativa (V) e reprodutiva (R), conforme amplamente adotado na literatura técnica e agrônômica. A fase vegetativa começa na emergência (VE), seguida pelos estágios numerados de desenvolvimento das folhas (V1, V2, V3...), com cada estágio representando a emissão de uma nova folha visível com a lâmina completamente desenvolvida. O último estágio vegetativo é o VT, quando ocorre a emissão total da inflorescência masculina (pendão). A fase reprodutiva inicia-se com a polinização (R1), caracterizada pela emissão de estigmas (cabelos) nas espigas, seguida pela

formação dos grãos (R2 – grão leitoso), acúmulo de matéria seca (R3 – grão pastoso), início da desidratação (R4 – farináceo), grão dentado (R5) e maturidade fisiológica (R6), quando a planta atinge o máximo acúmulo de matéria seca e o ponto ideal para colheita. O acompanhamento desses estágios permite decisões de manejo mais precisas e maior eficiência no uso de insumos ao longo do ciclo da cultura (RITCHIE et al., 1993).

Estudos apontam para a necessidade de aumento da produção agrícola em 70% entre os anos de 2010 e 2050 (GAZZONI, 2017). No entanto, o aumento de períodos de estresse hídrico, tem acarretado diminuição da produção agrícola (GUIMARÃES et al., 2019). Por outro lado, além do déficit hídrico, o baixo teor de N presente nos solos de cultivo brasileiros é outro fator limitante para o alcance de altas produtividades da cultura (PANDOLFO et al., 2015). O N é o nutriente mais requerido pelas plantas e sua importância está ligada à síntese das moléculas de clorofila, aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas e enzimas importantes nas vias metabólicas (TAIZ et al., 2017).

2.3 TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.)

A *Cyperus rotundus* L., conhecida popularmente como tiririca, é uma planta herbácea perene, de hábito rizomatoso e alta capacidade de propagação vegetativa. Pertencente à família Cyperaceae, a tiririca é considerada uma das plantas daninhas mais persistentes e agressivas do mundo agrícola, além de apresentar usos tradicionais e propriedades medicinais relevantes (PIRZADA et al., 2015). Possui um complexo sistema subterrâneo de rizomas, tubérculos e bulbos, que favorece sua reprodução vegetativa. Mesmo após a remoção manual ou o uso de herbicidas, novas plantas podem rebrotar a partir desses órgãos (AZANIA et al., 2006).

A planta é rica em compostos bioativos como flavonoides, alcaloides, taninos, sesquiterpenos e fenóis, especialmente presentes nos rizomas e tubérculos (NGOC & MINH, 2021). Esses compostos são os responsáveis por diversas atividades farmacológicas. Tradicionalmente, é usada para tratar distúrbios gastrointestinais, inflamações, dismenorreia, febre, infecções cutâneas, diabetes e doenças do fígado (PIRZADA et al., 2015; ULLAH & HASSAN, 2022). A literatura confirma propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias, hepatoprotetoras, antidiarreicas e anticancerígenas (SRIVASTAVA et al., 2013; BABIACA et al., 2021).

A planta compete de forma intensa com culturas como feijão, soja, milho, hortaliças e café, por luz, água e nutrientes. Estudos mostram que infestações não controladas podem

comprometer significativamente a produtividade agrícola (PE, 2001; CAPRONI JÚNIOR et al., 2020). Fatores como profundidade de plantio e sombreamento afetam diretamente o desenvolvimento da tiririca. O plantio em profundidades maiores favorece o vigor das plantas, enquanto o sombreamento leve (30%) pode reduzir sua densidade (NEMOTO et al., 1995). O controle químico com herbicidas como imazapyr apresenta bons resultados, porém com efeitos residuais negativos sobre culturas sensíveis como o feijão, especialmente em altas doses (Pe, 2001). Técnicas alternativas, como o uso de extratos vegetais alelopáticos de *Lippia gracilis* e *Ficus benjamina*, mostraram resultados promissores na redução da germinação e desenvolvimento da tiririca (OLIVEIRA et al., 2020; FERREIRA, 2015).

Embora *C. rotundus* seja considerada uma planta daninha, ela demonstra grande capacidade de adaptação e resistência em ambientes adversos, características que podem estar relacionadas à sua associação com BPCVs. Isso sugere que ela pode ser uma planta modelo para isolar novas cepas bacterianas úteis para agricultura sustentável. Seu micro bioma pode ser explorado para uso em solos contaminados ou pobres em nutrientes.

Um estudo realizado em solo contaminado por petróleo no nordeste do Brasil identificou uma comunidade complexa de bactérias associadas às raízes e à rizosfera de *C. rotundus*. Foram encontrados microorganismos com genes *alkB* (degradação de hidrocarbonetos) e *nifH* (fixação biológica de nitrogênio), indicando o potencial da planta como hospedeira de bactérias com atividades ecológicas benéficas (JURELEVICIUS et al., 2010). Entre os isolados cultiváveis, foram identificadas bactérias dos gêneros: *Rhizobium* e *Cupriavidus* – fixadores de nitrogênio, *Pseudomonas* e *Rhodococcus* – degradadores de contaminantes orgânicos e com atividade promotora de crescimento vegetal. *Enterobacter* e *Gordonia* – potenciais produtores de fito hormônios e agentes de defesa vegetal. Esses microrganismos têm aplicações potenciais como inoculantes biofertilizantes, biorremediadores e agentes de promoção de crescimento vegetal.

2.4 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL

As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) incluem microrganismos de vida livre que formam relações simbióticas específicas com plantas e endófitos bacterianos que podem colonizar diversas partes dos tecidos de uma planta (GLICK, 2012). Algumas estratégias baseadas nesses microrganismos vêm sendo estudadas como alternativas ecológicas para a mitigação de adversidades que a agricultura pode enfrentar. Entre as alternativas, estão

sendo desenvolvidas estratégias para a estimular a conservação ecológica, melhorar as práticas agronômicas, bem como aumentar a produtividade e reduzir seu custo (ASHRAF et al. 2012).

As BPCV possuem ampla contribuição para o desenvolvimento das plantas, configurando-se como uma estratégia biotecnológica eficiente e economicamente viável para o aumento da produtividade agrícola (LANDA et al., 2013; ROSA et al., 2020). Esses microrganismos atuam por diversos mecanismos fisiológicos e bioquímicos (OLANREWAJU, 2017), entre os quais se destaca a produção de fitohormônios reguladores do crescimento vegetal, como auxinas, citocininas (DE GARCIA SALAMONE, 2006; AHMED, 2010). Esses compostos modificam a arquitetura radicular das plantas, promovendo maior emissão de raízes e, conseqüentemente, aumento da capacidade e da área de absorção de nutrientes (CIPRIANO et al., 2021). Além disso, essas bactérias contribuem para a indução de tolerância a diversos estresses abióticos, como seca, salinidade, presença de metais pesados e inundações (MAYAK et al., 2004; SANDHYA et al., 2010; KHAN et al., 2012; ASGHARI, 2020). Outro mecanismo relevante é a capacidade de algumas BPCVs em criar um ambiente antagônico ao desenvolvimento de fitopatógenos, por meio da produção de metabólitos com ação supressiva, atuando como agentes de controle biológico (CUI et al., 2019; BABALOLA, 2010; HAYAT et al., 2010). Além disso, essas bactérias são capazes de solubilizar o fósforo imobilizado no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas (SHARMA et al., 2013; KHAN et al., 2014; ALORI, 2017), bem como realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (SIVASAKTHI et al., 2014; GUPTA et al., 2015; ROMERO-PERDOMO et al., 2017), reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Dentre alguns gêneros estudados estão *Azospirillum*, *Bacillus*, *Terribacillus* e *Pantoea*. O gênero *Azospirillum*, quando utilizado em conjunto com a cultura do milho, estimula a fixação de nitrogênio atmosférico, estimula a síntese de hormônios de crescimento, que promove o aumento do sistema radicular e auxilia na captação de água e no aumento do comprimento das espigas (ABBASI; MIR-MAHMOODI; JALILNEZHAD, 2015). Aplicado à soja, o gênero demonstrou aumento da porcentagem de sementes germinadas, além de ter impulsionado os estágios iniciais de desenvolvimento da cultura (CASSÁN et al., 2009).

O gênero *Bacillus* sp., demonstrou elevado potencial no aumento da biomassa e do teor de fósforo (P) na parte aérea do milho. O gênero possui mecanismos relacionados ao desenvolvimento do sistema radicular e mecanismos de solubilização e mineralização de P, que quando combinados favoreceram o aumento na absorção e eficiência de uso de P no milho e

na soja, refletindo no aumento da produtividade (MOSELA et al., 2022). Quanto ao gênero *Terribacillus* sp., um estudo conduzido por Salomon et al. (2016) demonstrou que sua inoculação é capaz de induzir a biossíntese de metabólitos secundários, como terpenos, auxiliando na resistência a patógenos e na atração de polinizadores. Por fim, Viruel et al. (2014) concluíram que a inoculação da *Pantoea* sp. demonstrou efeitos positivos na biomassa aérea de plantas de milho, além disso, De Gregorio et al., (2017), observaram que o revestimento das sementes de soja com *Pantoea* sp. aumentou a germinação, o comprimento e a massa seca da raiz.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, K.; MIR-MAHMOODI, T.; JALILNEZHAD, N. Effects of *Azospirillum* bacteria and cytokinin hormone on morphology, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). **International Journal of Biosciences**, v. 6, n. 3, p. 378-386, 2015.
- AGBODJATO, N.A., et al. Synergistic Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Chitosan on In Vitro Seeds Germination, Greenhouse Growth, and Nutrient Uptake of Maize (*Zea mays* L.). **Biotechnology Research International**, 7830182, p. 11, 2016.
- AHMED, A., HASNAIN, S. Auxin-producing *Bacillus* sp.: Auxin quantification and effect on the growth of *Solanum tuberosum*. **Pure and Applied Chemistry**, v. 82, p. 313–319, 2010.
- AIJAZ, N. et al. Improving salinity tolerance in wheat plants via inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis* for enhanced biomass, growth and physiological process. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 10, p. 103, 2024.
- AKINRINLOLA, R. J. et al. Evaluation of Bacillus Strains for Plant Growth Promotion and Predictability of Efficacy by In Vitro Physiological Traits. **International Journal of Microbiology**, v. 2018, n. 53, p. 1–11, 2018.
- ALORI, E. T., GLICK, B. R., BABALOLA, O. O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 971, 2017.
- ARMANHI, J. S. L., et al. Modulating drought stress response of maize by a synthetic bacterial community. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, article 747541, 2021.
- ASGHARI, B., KHADEMIAN, R., SEDAGHATI, B. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water shortage condition. **Scientia Horticulturae**, v. 263, 109132, 2020.

ASHRAF, M. *et al.* Crop improvement through different means: challenges and prospects. *In*: Ashraf, M. *et al* (eds). **Crop production for agricultural improvement**. Springer Science Reviews, Business Media BV, Dordrecht, Netherlands, 2012, p 1–15.

AZANIA, C.A.M. *et al.* Desenvolvimento da tiririca (*Cyperus rotundus*) influenciado pela presença e ausência de palha de cana-de-açúcar e herbicida. **Planta Daninha**, v. 24, p. 29–35, 2006.

BABALOLA, O. O. Beneficial bacteria of agricultural importance. **Biotechnology Letters**, v. 32, p. 1559-1570, 2010.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, 104276, 2022.

BARROS, L. H. da S. *et al.* Soybean inoculation techniques for the region of Tangará da Serra - MT, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. 1–19, 2020.

BULEGON, L. G. *et al.* Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 277–286, 2016.

CAPRONI JÚNIOR, L. *et al.* Allelopathy of tiririca (*Cyperus rotundus* L.) on arabic coffee seedlings. **International Journal of Agriculture and Environmental Research**, v. 6, n. 6, p. 799-805, 2020.

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**, v. 45, n. 1, p. 28–35, 2009.

CHAGAS, A. F. Jr. *et al.* *Bacillus* sp. como promotor de crescimento em soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2–3, p. 170–179, 2021.

CHIBEBA, A. M. *et al.* Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 10, p. 1641–1649, 2015.

CIPRIANO, M. A. P. *et al.* Plant-growth endophytic bacteria improve nutrient use efficiency and modulate foliar n-metabolites in sugarcane seedling. **Microorganisms**, v. 9, p. 1–19, 2021.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) - **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília: CONAB, p. 83, 2023.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) - **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 10º levantamento** – julho 2025. Brasília, DF: CONAB, 2025.

CUI, W. *et al.* Efficacy of plant growth promoting bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* B9601–Y2 for biocontrol of southern corn leaf blight. **Biological Control**, v. 139, 104080, 2019.

DE GARCIA SALAMONE, I. E., HYNES, R. K., NELSON, L. M. Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. *In* **PGPR: Biocontrol and Biofertilization**, (ed. Siddiqui, Z. A.) p. 173–195, Springer, Berlin, 2006.

DE GREGORIO, P.R., *et al.* Beneficial rhizobacteria immobilized in nanofibers for potential application as soybean seed bioinoculants. **PLoS ONE**, v. 12, e0176930, 2017.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. GIEWS Country Brief – Brazil. Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=BRA>.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. (Special Report, n. 80).

FERREIRA, G. Uso de soluções de *Ficus benjamina* na germinação de tiririca. **Cadernos de Agroecologia**. v. 10, n. 3 2016.

GIROLKAR, S., THAWALE, P., JUWARKAR, A. Bacteria-assisted phytoremediation of heavy metals and organic pollutants: challenges and future prospects. **Bioremediation for Environmental Sustainability**, v. 12, p. 247–267, 2021.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 963401, 2012.

GONÇALVES, A. H. Controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr. **Planta Daninha**, v. 19(3), p. 435–443, 2021.

GUPTA, G., *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, v. 7, p. 96–102, 2015.

HAYAT, R. *et al.* Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals of Microbiology**, v. 60, p. 579-598, 2010.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.

JU, W., *et al.* Rhizobacteria inoculation benefits nutrient availability for phytostabilization in copper contaminated soil: Drivers from bacterial community structures in rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v. 150, 103450, 2020.

KHAN, A. L., *et al.* Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: an example of *Paecilomyces formosus* LHL10. **BMC microbiology**, v. 12, n. 3, 2012.

KHAN, M.S, ZAIDI, A., AHMAD, E. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. *In: Khan MS et al (eds) Phosphate solubilizing microorganisms. Switzerland, Springer Nature, 2014, p. 31–62.*

KUMAWAT, G., SHAHI, J. P., KUMAR, M. Assessment of genetic diversity of maize (*Zea mays* L.) hybrids under water logging condition. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 11 n. 01, p. 252–258, 2020.

LANDA, B. B, MONTES-BORREGO, M., NAVAS-CORTÉS, J.A. Use of PGPR for controlling soilborne fungal pathogens: assessing the factors influencing its efficacy. *In: Maheshwari DK (ed) Bacteria in agrobiolgy: disease management, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag p. 259–292, 2013.*

LIM, J. A., *et al.* Draft genome sequence of *Pantoea agglomerans* R190, a producer of antibiotics against phytopathogens and foodborne pathogens. **Journal of Biotechnology**, v. 188, p. 7–8, 2014.

MAYAK, S., TIROSH, T., GLICK, B. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance in tomato to salt stress. **Plant physiology and biochemistry**, v. 42, p. 565-72, 2004.

MICHTA, G. H. *et al.* Analysis of the importance of the inoculation technique in brazilian soybean crop. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 21, n. 6, p. 5126–5150, 2023.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização: **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

MIRANSARI, M. Soybean production and salinity stress. *In: MIRANSARI, M. Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses.* New York: Springer, 2016.

MISHRA, A., *et al.* Rhizosphere competent *Pantoea agglomerans* enhances maize (*Zea mays*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, without altering the rhizosphere functional diversity. **Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 100, p. 405–413, 2011.

MORETTI, L. G. *et al.* Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? **Agronomy Journal**, v. 110, p. 715–721, 2018.

MOSELA, M., *et al.* *Bacillus velezensis* strain Ag75 as a new multifunctional agent for biocontrol, phosphate solubilization and growth promotion in maize and soybean crops. **Scientific Reports**, v. 12, 15284, 2022.

NEMOTO, M. C. M. *et al.* Comportamento da tiririca sob diferentes níveis de adubação fosfatada e sombreamento. **Planta Daninha**, v. 13, p. 50-55, 1995.

NGOC, Q.; MINH, T. *Cyperus rotundus* Cyperaceae: a study of phytochemistry, total polyphenol content, flavonoid content, and antioxidant activity. **E3S Web of Conferences**, v. 332, 2021.

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R., BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, p. 1–16, 2017.

OLIVEIRA, J. S. *et al.* Manejo da tiririca utilizando hidrolato de alecrim-de-tabuleiro (*Lippia gracilis*). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.10, p. 83335-83349, 2020.

ORTIZ-BARBOSA, G. S. *et al.* *Lotus japonicus* regulates root nodulation and nitrogen fixation dependent on the molecular form of nitrogen fertilizer. **Plant and soil**, v. 483, p. 533–545, 2023.

PIRZADA, A. M. *et al.* *Cyperus rotundus* L.: Traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 174, p. 540–560, 2015.

POUDEL, M. *et al.* The role of plant-associated bacteria, fungi, and viruses in drought stress mitigation. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 743512, 2021.

ROMERO-PERDOMO, F., *et al.* *Azotobacter chroococcum* as a potentially useful bacterial biofertilizer for cotton (*Gossypium hirsutum*): effect in reducing N fertilization. **Revista Argentina de Microbiologia**, v. 49, p. 377–383, 2017.

ROSA, P. A. L., *et al.* Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 1-18, 2020.

SALOMON, M. V., *et al.* Rhizosphere associated bacteria trigger accumulation of terpenes in leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Malbec that protect cells against reactive oxygen species. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 295–304, 2016.

SANDHYA, V., *et al.* Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 62, p. 21-30, 2010.

SANTACHIARA, G., SALVAGIOTTI, F., ROTUNDO, J. L. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: a meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 240, p. 106–115, 2019.

SANTOS, M. S., NOGUEIRA, M. A., HUNGRIA, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present, and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, p. 205, 2019.

SHARMA, S. B., *et al.* Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springerplus**, v. 2, p. 1–14, 2013.

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**, v. 9, p. 1265–1277, 2014.

SRIVASTAVA, R.; SINGH, A.; SHUKLA, S. Chemical Investigation and Pharmaceutical Action of *Cyperus rotundus* - A Review. **Journal of Biologically Active Products from Nature**, v. 3, p. 166–172, 2013.

ULLAH, M. A.; HASSAN, A. Medical Treatment of Various Diseases Through Nagarmotha (*Cyperus rotundus*) Plant. **European Journal of Biology and Medical Science Research**, v. 10, p. 26-43, 2022.

USDA – United States Department of Agriculture. Brazil: Oilseeds and Products Annual – 2025/26 projections. Foreign Agricultural Service, Washington, D.C., 2025. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov>.

VIRUEL, E *et al.* Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: effect on plant growth and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 819-831, 2014.

WU, C. X. *et al.* Isolation and characterization of endophytic bacteria from soybean (*Glycine max*) and their potential in plant growth promotion. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 10, 2012.

ZHANG X., *et al.* Enhanced Cd phytostabilization and rhizosphere bacterial diversity of *Robinia pseudoacacia* L. by endophyte *Enterobacter* sp. YG-14 combined with sludge biochar. **Science of the Total Environment**, p. 787, 147660, 2021.

CAPÍTULO I

RESUMO

NUNES, Ana Laura Topanott. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. **PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS DE SOJA PROMOVIDA POR BACTÉRIAS**

BIOPROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.). Orientador: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

A soja é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo base para a produção de óleo vegetal e ração animal, além de ter grande importância econômica no Brasil. Buscando alternativas sustentáveis para aumentar a produtividade, destaca-se o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), que associadas às plantas, favorecem seu crescimento e desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação de BPCVs, isoladas da tiririca, na germinação e no desenvolvimento de plantas de soja. Foram conduzidos experimentos em BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) e bandejas com areia (desenvolvimento inicial), em delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos e cinco repetições, sendo: T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 - *B. licheniformes* (SC19_1); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E). Em vasos, utilizando delineamento em blocos ao acaso, com os seis tratamentos que mais se destacaram nos experimentos em BOD e areia: T1 - controle; T2 - *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 - *Bacillus* sp.; T9 - *B. subtilis* e T10 - *B. zhangzhouensis* e com seis repetições. Em BOD, avaliou-se a germinação (1ª e 2ª contagem), plântulas normais e anormais, sementes mortas e índice de velocidade de germinação. No desenvolvimento inicial, mediram-se o índice de velocidade de emergência, porcentagem de germinação, crescimento inicial, teor relativo de clorofila, área foliar, altura, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da raiz e massa seca de raiz e parte aérea. No ensaio em vasos foram avaliadas características morfométricas, teor relativo de clorofila, trocas gasosas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem. Em BOD, na primeira contagem, T10, T4, T7, T6 e T3 apresentaram desempenho superior a T1. Por outro lado, não foram observadas diferenças estatísticas significativas nas demais variáveis. Em areia, T9 destacou-se com maiores valores de primeira contagem, segunda contagem e IVE, sendo significativamente superior a T1. Na altura de plantas, os tratamentos T8, T7, T6 e T4 formaram o grupo com as maiores médias. O comprimento de raiz foi superior em T9, em comparação a T1. O diâmetro do caule apresentou maior média em T9, que diferiu significativamente de T4 e a maior área foliar foi observada em T7. A massa seca de raiz foi maior em T10, enquanto a massa seca da parte aérea destacou-se em T7. Em vaso, a massa de cem grãos apresentou maior valor em T2, que diferiu estatisticamente de T1. A maior taxa de assimilação líquida de CO₂ foi observada em T6, significativamente superior a T2 e T5, demonstrando maior eficiência fotossintética sob inoculação. Concluiu-se que *B. subtilis* foi promissora no desenvolvimento inicial das sementes. *B. zhangzhouensis* e *B. licheniformes* apresentaram incremento nas características morfométricas das plantas de soja em substrato pobre e *A. brasilense* aumentou a produção de grãos da cultura.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; Bactérias promotoras de crescimento vegetal; Bioprospecção; Germinação; primeira contagem.

ABSTRACT

NUNES, Ana Laura Topanott. State University of Western Paraná. **GROWTH PROMOTION IN SOYBEAN PLANTS BY BACTERIA BIOPROSPECTED FROM**

PURPLE NUTSEDGE (*Cyperus rotundus* L.) Advisor: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

Soybean (*Glycine max* L.) is one of the main agricultural crops globally, serving as a primary source for vegetable oil and animal feed, and holds significant economic importance in Brazil. In the search for sustainable alternatives to enhance productivity, the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB) stands out, as these microorganisms, when associated with plants, promote growth and development. This study aimed to evaluate the interaction of PGPB, isolated from *C. rotundus* (nutgrass), on the germination and development of soybean plants. Experiments were conducted in a BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) chamber and in sand-filled trays (initial development), following a completely randomized design with 10 treatments and five replications: T1 – control; T2 – *Azospirillum brasilense*; T3 – *Terribacillus* sp. (SN17); T4 – *Pantoea ananatis* (S30N); T5 – *P. eucrino* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 – *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E); and T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E). A pot experiment was also conducted using a randomized block design with the six most promising treatments from the BOD and sand assays: T1 – control; T2 – *A. brasilense*; T5 – *P. eucrino*; T6 – *Bacillus* sp.; T9 – *B. subtilis*; and T10 – *B. zhangzhouensis*, with six replications. In the BOD assay, the following variables were evaluated: germination percentage (first and second counts), normal and abnormal seedlings, dead seeds, and germination speed index (GSI). During initial development, the following parameters were measured: emergence speed index (ESI), germination percentage, early plant growth, relative chlorophyll content (SPAD), leaf area, plant height, number of leaves, stem diameter, root length, and shoot and root dry mass. In the pot experiment, morphometric traits, SPAD, gas exchange, number of pods per plant, and number of seeds per pod were assessed. In the BOD test, during the first germination count, treatments T10, T4, T7, T6, and T3 outperformed the T1. However, no significant differences were observed for the other germination-related variables. In sand-filled trays, T9 presented the highest values for first count, second count, and ESI, significantly surpassing T1. Regarding plant height, treatments T8, T7, T6, and T4 showed the highest mean values, while T9 exhibited the greatest root length, surpassing the control. The stem diameter was highest in T9 and significantly different from T4, and the largest leaf area was observed in T7. The highest root dry mass was found in T10, while the greatest shoot dry mass was observed in T7. In pots, the 100-seed weight was highest in T2, which significantly differed from the control. The highest net photosynthetic rate was recorded in T6, significantly higher than T2 and T5, indicating improved photosynthetic efficiency under bacterial inoculation. It was concluded that *B. subtilis* showed promising effects on early seedling development. *B. zhangzhouensis* and *B. licheniformes* contributed to enhanced morphometric traits in soybean grown in nutrient-poor substrate, while *A. brasilense* increased grain yield in the crop.

Keywords: *Glycine max* L.; Plant growth-promoting bacteria; Bioprospecting; Germination; First count.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo amplamente cultivada devido ao seu elevado valor econômico e potencial

produtivo. A produtividade da soja, contudo, pode ser limitada por diversos fatores abióticos e bióticos, como estresse hídrico, baixa fertilidade do solo e ataque de fitopatógenos. Nesse contexto, o uso de microrganismos benéficos à planta, especialmente as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), tem emergido como uma estratégia promissora para mitigar tais estresses e potencializar a produtividade de culturas agrícolas (MAYAK et al., 2004; SANDHYA et al., 2010; KHAN et al., 2012; ASGHARI, 2020; HUNGRIA et al., 2016; GIROLKAR et al., 2021).

A bioprospecção de BPCVs consiste na busca e seleção de microrganismos com potencial agrônomo a partir de diferentes ambientes e hospedeiros, como plantas daninhas, que muitas vezes abrigam comunidades microbianas adaptadas a condições adversas. *Cyperus rotundus* L., conhecida popularmente como tiririca, é uma planta daninha amplamente distribuída e caracterizada por sua alta rusticidade e vigor competitivo, características que podem estar associadas à presença de microrganismos benéficos em sua rizosfera (LIU et al., 2022). Estudos como o de Jurelevicius et al. (2010) revelam que a rizosfera de *C. rotundus* abriga uma comunidade diversa de bactérias com genes associados à fixação biológica de nitrogênio e degradação de hidrocarbonetos, incluindo gêneros reconhecidos como promotores de crescimento, como *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*.

Além disso, outros gêneros já estudados, como *Azospirillum*, *Bradyrhizobium*, *Bacillus*, *Terribacillus* e *Pantoea* possuem a capacidade de estimular o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos (MISHRA et al., 2011; LIM et al., 2014; BULEGON et al., 2016; SALOMON et al., 2016). Algumas de suas espécies quando inoculadas na cultura da soja, estimulam o aumento da nodulação das raízes, permitindo que a planta fixe o nitrogênio do ar, sendo vantajoso tanto para a planta quanto para o ambiente, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos e aumentam o rendimento dos grãos da cultura (MORETTI et al., 2018; SANTACHIARA et al., 2019; ORTIZ-BARBOSA et al., 2023; BARBOSA et al., 2022). Potencializam o crescimento da parte aérea e das raízes, resultando em aumento da exploração de volume do solo (JU et al., 2020; ZHANG et al., 2021), podem aumentar a porcentagem de germinação, o índice de vigor de plântulas e o índice de emergência (AGBODJATO et al., 2016).

Considerando os múltiplos benefícios que as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) podem conferir às plantas, a hipótese dessa pesquisa é que sementes de soja, quando inoculadas com as BPCVs isoladas da tiririca (*Cyperus rotundus* L.) apresentam incremento na velocidade de germinação, no crescimento de plântulas e na produção de grãos.

Objetivou-se verificar quais os efeitos da interação entre as bactérias isoladas da Tiririca quando inoculadas em sementes de soja e verificar se há efeito no desenvolvimento inicial, nas características morfométricas, fisiológicas e produtivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos com a cultura da soja, todos vinculados à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon. Os ensaios foram realizados nas seguintes condições: em câmara de crescimento tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) no Laboratório de Tecnologia de Sementes; em bandejas com areia autoclavada, em ambiente protegido da Estação de Horticultura e em vasos, na Estação de Horticultura Professor Mário César Lopes.

No Laboratório de Biotecnologia de Microrganismos da Faculdade Biopark, as linhagens bacterianas alvo do presente estudo foram previamente isoladas da rizosfera e do interior de plantas de *Cyperus rotundus* L., popularmente conhecida como tiririca. As plantas de tiririca foram coletadas no ponto -24,37669, -53,758217 e caracterizadas quanto ao potencial de promoção de crescimento vegetal por meio de testes *in vitro* (OLIVEIRA et al., 2023). As linhagens que mais se destacaram na produção de auxina e solubilização de fosfato foram identificadas à nível de espécie/gênero por meio do sequenciamento da região 16S.

A cultivar de soja utilizada foi M 5947® IPRO (Monsoy), pertencente ao grupo de maturação 5.9, porte médio e hábito de crescimento indeterminado. A inoculação das sementes foi realizada com 6 mL por kg de semente, homogeneizadas em sacos plásticos por 1 minuto e mantidas por 30 minutos antes da semeadura.

Experimentos em B.O.D. e bandejas com areia autoclavada

Os testes de germinação e emergência foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 - *B. licheniformes* (SC19_1); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E). As suspensões bacterianas apresentavam concentração de 1×10^9 UFC/mL. As linhagens T7 e T8 foram identificadas como pertencentes à mesma espécie, mas oriundas de locais distintos.

O teste de germinação foi conduzido em rolos de papel “germitest”, com cinco repetições de 50 sementes. O substrato foi umedecido com água destilada na proporção de 2,5

vezes sua massa seca e mantido a 30 °C, com fotoperíodo de 12 horas, em germinador tipo B.O.D., conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). Foram avaliadas as porcentagens de germinação em primeira e segunda contagem, aos cinco e oito dias após a sementeira. Foram consideradas germinadas as sementes que originaram plântulas normais, apresentando todas as estruturas essenciais. Além disso, foi realizado o índice de velocidade de germinação (IVG), calculado a partir da soma do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo respectivo número de dias transcorridos a partir da sementeira, correspondendo ao número de sementes germinadas ao longo do tempo, sendo expresso em semente/dia (Maguire, 1962).

$$IVG: \frac{N_1}{E_1} + \frac{N_2}{E_2} + \frac{N_3}{E_3} \dots$$

O teste de emergência foi conduzido em bandejas com areia autoclavada a 140 °C por 60 minutos, utilizando cinco repetições de 50 sementes, distribuídas em sulcos de 2 cm de profundidade e espaçamento de 2 cm entre si. O substrato foi mantido com umidade adequada até a estabilização da emergência. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado com base na fórmula de Maguire (1962).

$$IVE: \frac{N_1}{E_1} + \frac{N_2}{E_2} + \frac{N_3}{E_3} \dots$$

Onde, IVE = Índice de Velocidade de Emergência, E1, E2, En = número de plantas normais emergidas na primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem e N1, N2, Nn = número de dias da sementeira à primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem. Aos 15 DAS, foi avaliado o teor relativo de clorofila (índice SPAD) e coletadas 20 plantas por tratamento para mensuração da área foliar (Area Meter Li-3100), altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da raiz e massa seca da parte aérea e da raiz, após secagem a 65 °C em estufa com circulação de ar.

Experimento em vasos

O experimento em vasos foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições, utilizando os tratamentos que apresentaram maior desempenho nos testes anteriores: T1 - controle; T2 – *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 – *Bacillus* sp; T9 – *B. subtilis* e T10 – *B. zhangzhouensis*. Os vasos (8 dm³) foram preenchidos com solo da camada A de um LATOSSOLO Vermelho Eutroférico (SANTOS, 2018). A sementeira foi realizada com oito

sementes por vaso a 3 cm de profundidade, e após a emergência, o desbaste foi realizado, mantendo-se duas plantas por vaso.

No estádio R2 (floração), foram realizadas leituras do índice SPAD em cinco folhas expandidas por planta, bem como medições de trocas gasosas em folhas sadias e expostas à luz solar. Também no estádio R2, foram coletadas quatro folhas por vaso para cálculo da área foliar específica, obtida pela razão entre a área foliar (cm²) e a massa seca após secagem a 65 °C por 72 horas (GOBBI et al., 2011). Foram ainda avaliados: altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz.

Ao final do ciclo da cultura, foram coletadas duas plantas por vaso para avaliação dos componentes de produtividade: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número total de grãos por planta e massa de 100 grãos. A trilha foi realizada mecanicamente, com base nas RAS (BRASIL, 2009). A produtividade (kg ha⁻¹) foi calculada após correção da umidade dos grãos para 13%, conforme metodologia proposta por Marcos Filho (2015).

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro e, quando significativo, foi realizado o teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja em B.O.D

As respostas fisiológicas das sementes de soja à inoculação com as diferentes BPCV, em câmara BOD são apresentadas a seguir na Tabela 1. As variáveis analisadas foram: primeira contagem e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de germinação, porcentagem de plântulas normais e anormais, e sementes mortas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação de médias da primeira e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de germinação, porcentagem de sementes normais, anormais e sementes mortas.

Tratamento	Primeira contagem	Segunda contagem	IVG	Plântula normais	Plântulas anormais	Sementes mortas
	%	%	%	%	%	%
1	44,20 b	49,80 a	37,87 a	51,60 a	48,00 a	0,40 a
2	47,40 ab	50,00 a	41,17 a	55,60 a	44,40 a	0,00 a
3	47,80 a	49,60 a	42,07 a	58,80 a	40,40 a	0,80 a

4	48,80 a	49,80 a	40,40 a	52,80 a	46,80 a	0,40 a
5	47,40 ab	49,80 a	38,59 a	53,60 a	46,00 a	0,40 a
6	48,00 a	50,00 a	40,49 a	60,80 a	39,20 a	0,00 a
7	48,20 a	49,60 a	40,55 a	50,00 a	49,20 a	0,80 a
8	46,40 ab	50,00 a	38,05 a	55,60 a	43,20 a	1,20 a
9	45,80 ab	49,60 a	41,95 a	61,60 a	37,60 a	0,80 a
10	48,80 a	49,80 a	39,88 a	56,00 a	43,60 a	0,40 a
CV (%) =	3,36	0,90	5,98	13,75	17,28	172,01

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey(p<0,05). T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E) e T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E).

Na primeira contagem, os tratamentos T10 (*B. zhangzhouensis*), T4 (*P.a ananatis*), T7 (*B. licheniformis*), T6 (*Bacillus* sp.) e T3 (*Terribacillus* sp.) apresentaram as maiores médias e apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento controle (T1), mas não foram observadas diferenças estatísticas significativas nas demais variáveis avaliadas - segunda contagem, IVG, plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas.

A escassez de estudos com *B. zhangzhouensis* e *Terribacillus* sp. limita comparações diretas com a literatura, mas os resultados obtidos neste estudo sugerem que essas espécies também apresentam potencial para uso como bioinoculantes no tratamento de sementes, especialmente pela melhora do vigor inicial. A atuação de *P. ananatis* (T4), ainda pouco explorada nesse contexto, merece atenção, considerando seu desempenho positivo na primeira contagem, embora seja tradicionalmente estudada como patógeno ou microrganismo de interação negativa com culturas como arroz (JIN et al., 2020).

No entanto, há evidência de outras espécies de *Bacillus* que promovem a germinação e o crescimento de plântulas de soja, como o trabalho de Miljaković et al. (2022), que relata que *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* melhoraram a germinação, o comprimento da raiz e o peso seco das plântulas de soja. Além disso, cepas de *Bacillus*, endofíticas de soja, aumentaram a taxa de germinação mesmo após infecção com *Phytophthora sojae* (WU, 2012). De forma semelhante, Naamala et al. (2022) demonstraram que frações celulares de *Bacillus* sp. aumentaram o comprimento radicular e a porcentagem de germinação sob condições de estresse salino. Esses resultados sugerem que essas bactérias, especialmente as do gênero *Bacillus*, podem atuar positivamente na indução de mecanismos que favorecem a emergência precoce das plântulas.

Portanto, os resultados indicam que os tratamentos T10 (*B. zhangzhouensis*), T4 (*P. ananatis*), T7 (*B. licheniformis*), T6 (*Bacillus sp.*) e T3 (*Terribacillus sp.*) influenciam positivamente a fase inicial da germinação de sementes de soja, promovendo maior vigor. Esse resultado se dá, provavelmente, pela ação dos hormônios promotores de crescimento vegetal, como a auxina, que as BPCV são capazes de sintetizar.

A ausência de efeito nas demais variáveis pode estar relacionada a uma resposta transitória das plantas à inoculação, com maior impacto nas fases iniciais da germinação, mas sem reflexos consistentes no desenvolvimento posterior das plântulas. Além disso, na promoção da germinação tem-se como o principal fito hormônio o ácido giberélico (giberelina) que atua, principalmente, no fim da dormência e alongamento celular inicial (TAIZ, 2017). Porém, as linhagens bacterianas utilizadas nesse experimento foram escolhidas entre as que mais se destacavam somente na produção de auxina e na solubilização de fosfato. Sendo assim, a ausência de efeito também pode estar relacionada a ausência do ácido giberélico por parte das bactérias.

4.2 Avaliação da emergência de plântulas de soja em bandejas com areia

As respostas fisiológicas das sementes de soja à inoculação com as diferentes BPCV em condição de bandejas com areia autoclavada são apresentadas abaixo na Tabela 2. As variáveis analisadas foram primeira e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de emergência, altura, comprimento de raiz, diâmetro de caule, área foliar, massa seca de raiz e massa seca da parte aérea. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação de médias da primeira e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de emergência (IVE), altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) de soja.

Tratamento	Primeira contagem	Segunda contagem	IVE	ALT	RAIZ	DC	AF	MSR	MSPA
	%	%	%	cm	cm	mm	cm ²	g	g
1	12,50 bc	21,00 ab	8,69 bc	11,55 d	13,97 c	1,80 ab	130,62 b	0,52 b	1,02 b
2	14,75 bc	18,50 ab	10,06 bc	13,50 cd	13,85 c	1,82 ab	159,62 ab	0,55 b	1,20 ab
3	18,50 bc	17,50 b	11,51 abc	12,12 bcd	14,77 c	1,80 ab	142,90 b	0,47 b	1,15 ab
4	13,00 bc	20,75 ab	12,41 abc	13,12 abc	21,85 ab	1,70 b	140,30 b	0,90 ab	1,05 ab
5	9,00 c	11,75 b	5,80 c	12,37 abcd	17,75 abc	1,80 ab	152,45 ab	0,55 b	1,10 ab
6	19,00 ab	21,50 ab	11,93 abc	13,40 ab	15,42 bc	1,75 ab	158,82 ab	0,45 b	1,17 ab
7	16,50 abc	20,25 ab	11,22 bc	13,42 ab	17,12 abc	1,77 ab	184,07 a	0,55 b	1,27 a

8	18,75 ab	20,50 ab	13,64 ab	13,73 a	15,87 abc	1,77 ab	144,20 ab	0,55 b	1,20 ab
9	26,00 a	30,75 a	18,45 a	11,70 d	22,32 a	1,87 a	135,80 b	0,52 b	1,10 ab
10	22,50 ab	23,00 ab	14,84 ab	11,72 cd	21,52 ab	1,82 ab	145,80 ab	1,07 a	1,17 ab
CV (%) =	28,11	25,92	24,47	4,59	8,17	3,64	11,26	31,65	8,59

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey(p<0,05). T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E) e T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E).

A primeira contagem apresentou ampla variação entre os tratamentos, com destaque para *B. subtilis* (T9), que obteve média de 26,0%, seguido de *B. zhangzhouensis* (T10) com 22,5%. O tratamento T9 (*B. subtilis* - 26,0%) foi significativamente superior ao tratamento T1 (controle – 12,50%), T2 (*A. brasilense* – 14,75%), T3 (*Terribacillus* sp. – 18,50%), T4 (*P. ananatis* – 13,00%) e T5 (*P. eucrina* – 9,00%). A segunda contagem corroborou com os resultados da primeira contagem, com T9 e T10 obtendo 30,75% e 23,0%, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com Tavanti et al. (2020), que observaram aumento da emergência e vigor de sementes de soja tratadas com diferentes cepas de *B. subtilis*, atribuídos à atuação fito hormonal.

A variável IVE demonstrou novamente o destaque de *B. subtilis* (T9), com 18,45%, seguido de T10 (*B. zhangzhouensis*) com 14,84% e T8 (*B. licheniformis*) com 13,64%. Estudos com substrato estéril confirmam esse efeito, como relatado por Kondo et al. (2024), que observaram aumento da biomassa e crescimento radicular em mudas tratadas com *Bacillus* spp. em experimento com araucária.

Em relação à ALT, as médias variaram entre 11,55 cm (T1) e 13,73 cm (T8). Os tratamentos T8 (*B. licheniformes* – 13,73), T7 (*B. licheniformis* – 13,73), T6 (*Bacillus* sp. – 13,40) e T4 (*P. ananatis* – 13,13) formaram o grupo de maiores médias, sugerindo um efeito promotor de crescimento, possivelmente relacionado à síntese de auxinas, conforme descrito por Ribeiro et al. (2021).

O tratamento com *B. subtilis* (T9) apresentou destaque na variável comprimento de raiz (22,32 cm), superando o tratamento controle (T1 – 13,97), *A. brasilense* (T2 – 13,85) e *Terribacillus* sp. (T3 – 14,77). Esses resultados são consistentes com o trabalho de Araújo et al. (2021), que observaram que *B. subtilis* promove alterações positivas na arquitetura radicular e no conteúdo de clorofila de plantas de soja cultivadas em substrato pobre, favorecendo a absorção de água e nutrientes.

As variáveis, como diâmetro do caule e área foliar, apresentaram variações mais discretas, mas com diferenças significativas entre os tratamentos. O diâmetro de caule apresentou maior média em T9 (*B. subtilis* – 1,87) que diferiu significativamente de T4 (*P. ananatis* – 1,70). Um ensaio realizado com melancia demonstrou que a utilização de *B. subtilis* promoveu aumento significativo no diâmetro de caule da planta (SILVA et al., 2022). O maior valor de AF foi observado em T7 (184,07 cm²), reforçando a tendência de que *Bacillus sp.* contribui para o desenvolvimento foliar, como também descrito por Almeida et al. (2021). Apesar de *B. licheniformis* (T7) ser reconhecido como uma BPCV, os estudos que relacionam sua aplicação à expansão foliar da soja ainda são escassos na literatura científica. Não foram localizados trabalhos que abordem diretamente o efeito dessa espécie bacteriana sobre a área foliar da cultura da soja. Entretanto, resultados promissores já foram relatados em outras espécies vegetais. Por exemplo, em *Camellia oleifera*, *B. licheniformis* MH48 promoveu o crescimento de mudas, aumentando a biomassa e a absorção de nitrogênio e fósforo, fatores que podem favorecer o desenvolvimento foliar da planta (WON et al., 2019). Esses dados sugerem um potencial ainda inexplorado de *B. licheniformis* para melhorar atributos morfológicos da soja, como a área foliar.

A variável MSR apresentou diferença significativa entre T10 (*B. zhangzhouensis* – 1,07) e todos os tratamentos, com exceção de T4 (*P. ananatis* – 0,90). A MSPA variou significativamente entre o tratamento T7 (*B. licheniformis* – 1,27) e o tratamento T1 (controle – 1,02). Esses resultados confirmam os valores obtidos no comprimento de raiz, em que T10 também obteve uma das maiores médias. Além disso, confirmam os valores obtidos na variável área foliar, com maior média encontrada em T7 (*B. licheniformis*)

4.3 Avaliação de variáveis morfométricas das plantas de soja em vaso

Os resultados análise dos dados obtidos do experimento em vaso. A análise demonstrou que para a maioria das variáveis analisadas, não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, conforme indicado pelos valores de *p* superiores a 0,05 nas análises de variância. Com exceção para algumas variáveis fisiológicas e produtivas, as quais apresentaram resultados significativos que indicam variações entre os tratamentos. As variáveis analisadas foram altura, índice de clorofila, área foliar, diâmetro de caule, massa seca de raiz, massa seca da parte aérea, massa de cem grãos e taxa de assimilação líquida de CO₂ (Tabela 3).

Tabela 3 Comparação de médias das variáveis morfológicas altura de planta (ALT), índice de colorofila (SPAD), volume de raiz (VOL RAIZ), massa seca de folhas (MSF), área foliar (AF), diâmetro de caule (DC), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa de cem grãos (MCG) e taxa de assimilação líquida de CO² (A) de plantas de soja em vaso.

Tratamento	ALT	SPAD	VOL RAIZ	MSF	AF	DC	MSR	MSPA	MCG	A
o	cm		cm ³	g	cm ²	mm	g	g	g	μmol CO ² m ⁻² s ⁻¹
1	50,75 a	34,23 a	391,66 a	11,62 a	2225,81 a	8,03 a	8,86 a	1,12 a	112,04 b	27,78 ab
2	59,75 a	36,26 a	275,00 a	9,52 a	1890,38 a	7,66 a	7,18 a	1,20 a	135,14 a	25,14 b
5	56,33 a	37,05 a	291,66 a	11,87 a	2331,77 a	8,05 a	8,08 a	1,10 a	119,45 ab	25,11 b
6	60,83 a	35,76 a	396,66 a	11,08 a	2104,17 a	7,92 a	7,73 a	1,17 a	113,40 ab	33,18 a
9	50,50 a	36,43 a	396,66 a	11,49 a	2520,22 a	7,29 a	7,76 a	1,10 a	128,11 ab	30,08 ab
10	51,83 a	36,13 a	396,66 a	11,75 a	2370,74 a	8,23 a	7,70 a	1,17 a	120,88 ab	27,23 ab
CV (%) =	13,67	5,09	36,97	16,30	21,32	9,39	19,23	8,59	10,37	15,68

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05). T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E).

Para as variáveis altura, índice de clorofila, volume de raiz, massa seca de folhas, área foliar, diâmetro de caule, massa seca de raiz e massa seca da parte aérea não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, conforme indicado pelos valores de p superiores a 0,05 nas análises de variância.

A massa de cem grãos apresentou maior média para o tratamento T2 (*A. brasilense*) que diferiu significativamente do tratamento controle (T1). Esse resultado é corroborado pelos estudos de Chibeba et al., (2015) e Hungria et al., (2013), que demonstram que as plantas de soja coinoculadas com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* apresentam nodulação mais abundante e precoce e ganho médio de produtividade, o dobro do proporcionado pela inoculação apenas com *Bradyrhizobium*.

O tratamento T6 (*Bacillus* sp.) destacou-se como o de maior taxa de assimilação líquida de CO² (33,18 μmol m⁻² s⁻¹) diferindo significativamente de T2 (*Azospirillum brasilense*) e T5 (*P. eucrina*). Achados como mostrado por Aijaz et al. (2024), que relataram aumento na fotossíntese de plantas sob estresse salino quando inoculadas com *Bacillus* em vasos, corroboram com os resultados encontrados nessa pesquisa. Embora não haja abundante literatura sobre *P. eucrina* em soja, estudos com espécies correlatas como *P. agglomerans* sugerem seu potencial promotor de crescimento vegetal sob condições adversas (BHISE, 2019).

5 CONCLUSÃO

B. subtilis foi promissora no desenvolvimento inicial das sementes. *B. zhangzhouensis* e *B. licheniformes* apresentaram efeitos positivos nas características morfológicas das plantas de soja em substrato pobre e *A. brasilense* aumentou a produção de grãos da cultura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIJAZ, N. *et al.* Improving salinity tolerance in wheat plants via inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis* for enhanced biomass, growth and physiological process. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 10, p. 103, 2024.

ALMEIDA, J. R. de *et al.* *Bacillus* sp. RZ2MS9, a tropical PGPR, colonizes maize endophytically and alters the plant's production of volatile organic compounds both independently and when co-inoculated with *Azospirillum brasilense* Ab-V5. **bioRxiv**, 2021.

ARAÚJO, F. F. *et al.* *Bacillus subtilis* changes the root architecture of soybean grown on nutrient-poor substrate. **Rhizosphere**, v. 18, 2021.

ASGHARI, B., KHADEMIAN, R., SEDAGHATI, B. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water shortage condition. **Scientia Horticulturae**, v. 263, 109132, 2020.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, 104276, 2022.

BHISE, K. K.; DANDGE, P. Alleviation of salinity stress in rice plant by encapsulated salt tolerant plant growth promoting bacteria *Pantoea agglomerans* strain KL and its root colonization ability. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 15, p. 1955–1968, 2019.

BRASIL - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA/ACS, p. 399, 2009.

BULEGON, L. G. *et al.* Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 277–286, 2016.

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**, v. 45, n. 1, p. 28–35, 2009.

CHIBEBA, A. M. *et al.* Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences, Irvine**, v. 6, n. 10, p. 1641–1649, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

GIRODKAR, S., THAWALE, P., JUWARKAR, A. Chapter 12 - bacteria-assisted phytoremediation of heavy metals and organic pollutants: challenges and future prospects. *In: Bioremediation for environmental sustainability*. Eds. Kumar V., Saxena G., Shah M. P. (USA: Elsevier), 2021, p. 247–267.

GOBBI, K. F. *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.

HUNGRIA, M. *et al.* Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791–801, 2013.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.

JIN, P. *et al.* Antimicrobial effect of *Bacillus licheniformis* HN-5 bacitracin A on rice pathogen *Pantoea ananatis*. **BioControl**, 2020, v. 66, p. 249–257.

JURELEVICIUS, D. *et al.* Polyphasic analysis of the bacterial community in the rhizosphere and roots of *Cyperus rotundus* L. grown in a petroleum-contaminated soil. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n. 5, p. 862–870, 2010.

KHAN, M.S, ZAIDI, A., AHMAD, E. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. *In: Khan MS et al (eds) Phosphate solubilizing microorganisms*. Switzerland, **Springer Nature**, 2014, p. 31–62.

KONDO, Y.; CRUZ, S. P. da; CHANWAY, C.; KASCHUK, G. Inoculation with *Azospirillum brasilense* or *Bacillus* spp. improves root growth and nutritional quality of *Araucaria angustifolia* seedlings. **Forest Ecology and Management**, p. 35, 2024.

- LIM, J. A., *et al.* Draft genome sequence of *Pantoea agglomerans* R190, a producer of antibiotics against phytopathogens and foodborne pathogens. **Journal of Biotechnology**, v. 188, p. 7–8, 2014.
- LIU, Wei *et al.* *Cyperus rotundus* L. drives arable soil to infertile soil by recruiting desert microbiota. **Science of the Total Environment**, v. 830, 154801, 2022.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n.1, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: **Abrates**, p. 659 2015.
- MAYAK, S., TIROSH, T., GLICK, B. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance in tomato to salt stress. **Plant physiology and biochemistry**, v. 42, p. 565-72, 2004.
- MILJAKOVIĆ, D. *et al.* Effect of plant growth promoting *Bacillus* spp. on germination and seedling growth of soybean. **Legume Research**, v. 45, n. 4, p. 487-491, 2022.
- NAAMALA, J. *et al.* Cell-free supernatant obtained from a salt tolerant *Bacillus amyloliquefaciens* strain enhances germination and radicle length under NaCl stressed and optimal conditions. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 2022.
- OLIVEIRA, T. A. G. *et al.* Isolation and characterization of rhizospheric and endophytic bacteria from *Cyperus haspan* for the production of bioinoculants. In: **32° Congresso de Microbiologia**, 2023, Foz do Iguaçu. 32° Congresso de Microbiologia, 2023.
- ORTIZ-BARBOSA, G. S., *et al.* *Lotus japonicus* regulates root nodulation and nitrogen fixation dependent on the molecular form of nitrogen fertilizer. **Plant and soil**, v. 483, p. 533–545, 2023.
- RIBEIRO, V. P. *et al.* Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 2, p. 143, 2022.
- SALOMON, M. V., *et al.* Rhizosphere associated bacteria trigger accumulation of terpenes in leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Malbec that protect cells against reactive oxygen species. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 295–304, 2016.
- SANDHYA, V., *et al.* Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 62, p. 21-30, 2010.

SANTACHIARA, G., SALVAGIOTTI, F., ROTUNDO, J. L. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: a meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 240, p. 106–115, 2019.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 5.ed. Brasília, 2018.

SILVA, K. R. C. *et al.* *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* no crescimento inicial de melancia ‘Sugar Baby’. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e96111335034, 2022.

TAVANTI, T. R. *et al.* Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, p. 313–318, 2020.

WU, C. X. *et al.* Isolation and characterization of endophytic bacteria from soybean (*Glycine max*) and their potential in plant growth promotion. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 10, 2012.

CAPÍTULO II

RESUMO

NUNES, Ana Laura Topanott. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. **PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO EM PLANTAS DE MILHO PROMOVIDA POR BACTÉRIAS**

BIOPROSPECTADAS DA TIRIRICA (*Cyperus rotundus* L.). Orientador: Prof. Dr.

Vandeir Francisco Guimarães.

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, com ampla importância econômica, sendo utilizado na alimentação humana e animal. Em busca de alternativas sustentáveis para aumentar a produtividade, destaca-se o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), que associadas às plantas favorecem seu crescimento e desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação de BPCVs, isoladas da tiririca, na germinação e no desenvolvimento de plantas de milho. Foram conduzidos experimentos em BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) e bandejas com areia (desenvolvimento inicial), em delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos e cinco repetições, sendo: T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 - *B. licheniformes* (SC19_1); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E). Em vasos, utilizando delineamento em blocos ao acaso, com os seis tratamentos que mais se destacaram nos experimentos em BOD e areia: T1 - controle; T2 - *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 - *Bacillus* sp.; T9 - *B. subtilis* e T10 - *B. zhangzhouensis* e com seis repetições. Em BOD, avaliou-se a germinação (1ª e 2ª contagem), plântulas normais e anormais, sementes mortas e índice de velocidade de germinação (IVG). No desenvolvimento inicial, mediram-se o índice de velocidade de emergência (IVE), porcentagem de germinação, teor relativo de clorofila, área foliar, altura, número de folhas, diâmetro do colmo, comprimento da raiz e massa seca de raiz e parte aérea. No ensaio em vasos foram avaliadas características morfológicas, teor relativo de clorofila, trocas gasosas, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa de 100 grãos. As variáveis primeira e segunda contagem, IVG, sementes mortas, massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, índice de clorofila, número de grãos por fileira e massa de cem grãos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Em BOD, a variável plântulas normais apresentou maior média em T1, com desempenho intermediário em T6 e T9. Por outro lado, a proporção de plântulas anormais, foi maior em T7 e T4, indicando um possível desequilíbrio fisiológico. Em areia, a altura de planta e comprimento de raiz foram significativamente maiores em T7 (*B. licheniformes* - SN33), a área foliar e massa seca da parte aérea foram superiores em T8 (*B. licheniformes* - SC19_1), sugerindo forte efeito promotor de crescimento em substrato pobre, a massa seca de raiz apresentou maior acúmulo em T3 e diâmetro de colmo foi maior em T10. Em vaso, a altura de planta, foi maior em todos os tratamentos com inoculante, que não diferiram entre si, mas foram superiores ao controle. A maior área foliar foi observado em T6, estatisticamente superior a T9 e T10. O número de fileiras por espiga foi mais alto em T9, superando T6. A fotossíntese líquida foi superior em T2, diferindo significativamente apenas de T10. Conclui-se que *B. licheniformes* (T7) foi efetivo no crescimento das plantas de milho, aumentando a altura, o comprimento de raiz, a área foliar e a massa seca da parte aérea e *Terribacillus* sp. (T3) promoveu o aumento da massa seca de raiz das plantas de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Bactérias promotoras de crescimento vegetal; Bioprospecção; Germinação; primeira contagem.

ABSTRACT

NUNES, Ana Laura Topanott. State University of Western Paraná. **GROWTH PROMOTION IN MAIZE PLANTS MEDIATED BY BACTERIA BIOPROSPECTED FROM PURPLE NUTSEDGE (*Cyperus rotundus* L.)** Advisor: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.

Maize is one of the most important crops worldwide, with broad economic relevance, widely used for both human and animal consumption. In the pursuit of sustainable alternatives to enhance productivity, the use of plant growth-promoting bacteria (PGPB) stands out, as these microorganisms, when associated with plants, stimulate growth and development. This study aimed to evaluate the interaction of PGPB, isolated from *C. rotundus*, on the germination and development of maize plants. Experiments were conducted in a BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) chamber (standard germination test) and in sand-filled trays (initial development), using a completely randomized design with 10 treatments and five replicates: T1 – control; T2 – *Azospirillum brasilense*; T3 – *Terribacillus* sp. (SN17); T4 – *Pantoea ananatis* (S30N); T5 – *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 – *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E); and T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E). In the pot experiment, a randomized block design was used, including the six most promising treatments from the BOD and sand assays: T1 – control; T2 – *A. brasilense*; T5 – *P. eucrina*; T6 – *Bacillus* sp.; T9 – *B. subtilis*; and T10 – *B. zhangzhouensis*, with six replicates. In the BOD test, the following variables were evaluated: germination percentage (first and second counts), percentage of normal and abnormal seedlings, dead seeds, and germination speed index (GSI). In the initial development stage, the emergence speed index (ESI), germination percentage, relative chlorophyll content, leaf area, plant height, number of leaves, stem diameter, root length, and shoot and root dry mass were measured. In the pot assay, morphometric parameters, relative chlorophyll content, gas exchange, number of kernel rows per ear, number of kernels per row, and 100-kernel weight were evaluated. No significant differences were observed among treatments for the variables: first and second germination counts, GSI, dead seeds, shoot dry mass, root dry mass, chlorophyll index, number of kernels per row, and 100-kernel weight. The highest percentage of normal seedlings was found in the T1, with intermediate values in T6 and T9. In contrast, abnormal seedlings were more frequent in T7 and T4, indicating a possible physiological imbalance. In the sand assay, T7 (*B. licheniformes* SN33) resulted in significantly greater plant height and root length; T8 (*B. licheniformes* SC19_1) promoted higher leaf area and shoot dry mass, suggesting strong growth-promoting effects under low-fertility substrate conditions. The highest root dry mass was observed in T3, and the largest stem diameter in T10. In pots, plant height was greater in all inoculated treatments, which did not differ statistically from one another but were superior to the control. T6 presented the largest leaf area, significantly higher than T9 and T10. T9 showed the highest number of kernel rows per ear, exceeding T6. The net photosynthetic rate was highest in T2, differing significantly only from T10. It was concluded that *B. licheniformes* (T7) was effective in promoting maize plant growth by increasing height, root length, leaf area, and shoot dry mass, while *Terribacillus* sp. (T3) contributed to greater root dry mass accumulation.

Keywords: *Zea mays* L.; Plant growth-promoting bacteria; Bioprospecting; Germination; First count.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos tem impulsionado a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, especialmente na produção de grãos como o milho, uma das culturas mais relevantes no cenário agrícola global. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, a produção mundial de milho ultrapassou 1,2 bilhão de toneladas em 2023, cultivada em mais de 205 milhões de hectares (FAOSTAT, 2024). Segundo o 10º Levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) em julho de 2025, a expectativa é de 132 milhões de toneladas de milho, representando um crescimento de 14,3% em relação ao ciclo anterior.

A produção dessa commodity no Brasil depende significativamente do uso de fertilizantes para atingir o máximo potencial de produtividade. Por isso, muitos estudos têm analisado os efeitos da inoculação de microrganismos em diversas culturas vegetais, investigando se essa prática pode trazer benefícios à produtividade e à produção dessas culturas. Dentre os microrganismos estudados, encontram-se as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV). Inoculantes a base de BPCV têm sido cada vez mais usados para substituir total ou parcialmente fertilizantes químicos (SANTOS et al., 2019). Algumas BPCV, quando inoculadas em milho, têm demonstrado capacidade de gerar aumento médio no rendimento de grãos, além de potencializar algumas características de crescimento (BARBOSA et al., 2022).

Dentre os gêneros de BPCV que são estudadas estão *Azospirillum*, *Bacillus*, *Terribacillus* e *Pantoea* que possuem a capacidade de estimular o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos (Mishra et al., 2011; Lim et al., 2014; Bulegon et al., 2016; Salomon et al., 2016). Além disso, podem atuar no controle biológico de patógenos e auxiliar na resistência a estresses bióticos e abióticos das plantas inoculadas (HUNGRIA et al., 2016; GIROLKAR et al., 2021). Algumas plantas inoculadas podem apresentar aumento da parte aérea e do sistema radicular, resultando em aumento da exploração de volume do solo (JU et al., 2020; ZHANG et al., 2021), além disso, podem aumentar a porcentagem de germinação, o índice de vigor de plântulas e o índice de emergência (AGBODJATO et al., 2016; ZAHOOR et al., 2022).

Desta forma, a hipótese dessa pesquisa consiste em: sementes de milho, quando inoculadas com as BPCVs isoladas da tiririca (*C. rotundus* L.) apresentam incremento na velocidade de germinação, no crescimento de plântulas e na produção de grãos. Portanto, o

objetivo deste trabalho consistiu em verificar quais os efeitos da interação entre as bactérias promotoras de crescimento vegetal, isoladas da Tiririca (*C. rotundus* L.), inoculadas em sementes de milho e verificar se houve efeito no desenvolvimento inicial, nas características morfométricas, fisiológicas e produtivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos com a cultura do milho, todos vinculados à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon. Os ensaios foram realizados nas seguintes condições: em câmara de crescimento tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) no Laboratório de Tecnologia de Sementes; em bandejas com areia autoclavada, em ambiente protegido da Estação de Horticultura e em vasos, na Estação de Horticultura Professor Mário César Lopes.

No Laboratório de Biotecnologia de Microrganismos da Faculdade Biopark, as linhagens bacterianas alvo do presente estudo foram previamente isoladas da rizosfera e do interior de plantas de *C. rotundus* L., popularmente conhecida como tiririca. As plantas de tiririca foram coletadas no ponto -24,37669, -53,758217 e caracterizadas quanto ao potencial de promoção de crescimento vegetal por meio de testes *in vitro* (OLIVEIRA et al., 2023). As linhagens que mais se destacaram na produção de auxina e solubilização de fosfato foram identificadas à nível de espécie/gênero por meio do sequenciamento da região 16S.

A cultivar de milho utilizada foi a AS 1677 tecnologia VTPRO3, hiper precoce da empresa Agroeste®, denominada como híbrido simples e hiper precoce. A inoculação das sementes foi realizada com 6 mL por um kg de semente, homogeneizadas em sacos plásticos por 1 minuto e mantidas por 30 minutos antes da semeadura.

Experimentos em B.O.D. e bandejas com areia autoclavada

Os testes de germinação e emergência foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrinea* (BiF); T6 - *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 - *B. licheniformes* (SC19_1); T9 - *B. subtilis* (E3E) e T10 - *B. zhangzhouensis* (E5E). As suspensões bacterianas apresentavam concentração de 1×10^9 UFC/mL. As linhagens T7 e T8 foram identificadas como pertencentes à mesma espécie, mas oriundas de locais distintos.

O teste de germinação foi conduzido em rolos de papel “germitest”, com cinco repetições de 50 sementes. O substrato foi umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa seca e mantido a 30 °C, com fotoperíodo de 12 horas, em germinador tipo B.O.D., conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). Foram avaliadas as porcentagens de germinação em primeira e segunda contagem, aos cinco e oito dias após a semeadura. Foram consideradas germinadas as sementes que originaram plântulas normais, apresentando todas as estruturas essenciais. Além disso, foi realizado o índice de velocidade de germinação (IVG), calculado a partir da soma do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo respectivo número de dias transcorridos a partir da semeadura, correspondendo ao número de sementes germinadas ao longo do tempo, sendo expresso em semente/dia (Maguire, 1962).

$$IVG: \frac{N_1}{E_1} + \frac{N_2}{E_2} + \frac{N_3}{E_3} \dots$$

O teste de emergência foi conduzido em bandejas com areia autoclavada a 140 °C por 60 minutos, utilizando cinco repetições de 50 sementes, distribuídas em sulcos de 2 cm de profundidade e espaçamento de 2 cm entre si. O substrato foi mantido com umidade adequada até a estabilização da emergência. O índice de velocidade de emergência (IVE) foi determinado com base na fórmula de Maguire (1962).

$$IVE: \frac{N_1}{E_1} + \frac{N_2}{E_2} + \frac{N_3}{E_3} \dots$$

Onde, IVE = Índice de Velocidade de Emergência, E1, E2, En = número de plantas normais emergidas na primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem e N1, N2, Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e na última contagem. Aos 15 DAS, foi avaliado o teor relativo de clorofila (índice SPAD) e coletadas 20 plantas por tratamento para mensuração da área foliar (Area Meter Li-3100), altura de planta, número de folhas, diâmetro do colmo, comprimento da raiz e massa seca da parte aérea e da raiz, após secagem a 65 °C em estufa com circulação de ar.

Experimento em vasos

O experimento em vasos foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições, utilizando os tratamentos que apresentaram maior desempenho nos testes anteriores: T1 - controle; T2 – *A. brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 – *Bacillus* sp; T9 – *B. subtilis* e T10 – *B. zhangzhouensis*. Os vasos (8 dm³) foram preenchidos com solo da camada A de um

LATOSSOLO Vermelho Eutroférico (SANTOS, 2018). A semeadura foi realizada com oito sementes por vaso a 3 cm de profundidade, e após a emergência, o desbaste foi realizado, mantendo-se duas plantas por vaso.

No estádio R2 (floração), foram realizadas leituras do índice SPAD em cinco folhas expandidas por planta, bem como medições de trocas gasosas em folhas sadias e expostas à luz solar. Também no estádio R2, foram coletadas quatro folhas por vaso para cálculo da área foliar específica, obtida pela razão entre a área foliar (cm²) e a massa seca após secagem a 65 °C por 72 horas (GOBBI et al., 2011). Foram ainda avaliados: altura de planta, número de folhas, diâmetro do colmo, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz.

Ao final do ciclo da cultura, foram coletadas duas plantas por vaso para avaliação dos componentes de produtividade: número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e massa de 100 grãos. A trilha foi realizada mecanicamente, com base nas RAS (BRASIL, 2009).

Para a determinação da massa de 100 grãos e produtividade em kg ha⁻¹, as espigas foram submetidas a trilha mecânica, utilizando-se a metodologia das Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Para produtividade, foi feita a pesagem do total de grãos e posteriormente a correção da umidade da produção à 13%, para isso foi coletada uma amostra do produto bruto de cada parcela e pesada em balança analítica de precisão, levadas à estufa de circulação forçada de ar à 105°C até massa constante. Depois deste período as amostras foram pesadas novamente e aplicadas a correção (MARCOS FILHO, 2015).

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade de erro e, quando significativo, foi realizado o teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de milho em B.O.D.

As respostas fisiológicas das sementes de milho à inoculação com as diferentes bactérias promotoras de crescimento, em câmara BOD são apresentadas a seguir na Tabela 1. As variáveis analisadas foram: primeira contagem e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), porcentagem de plântulas normais e anormais, e sementes mortas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 1)

Tabela 4. Comparação de médias da primeira e segunda contagem da germinação, altura de planta (ALT), índice de velocidade de germinação (IBG), plântulas normais, anormais e sementes mortas.

Tratamento	Primeira contagem	Segunda contagem	IVG	Plântulas normais	Plântulas anormais	Sementes mortas
	%	%	%	%	%	%
1	42,00 a	45,20 a	41,76 a	76,40 a	14,00 b	9,60 a
2	39,60 a	41,60 a	38,91 a	55,60 b	27,60 ab	16,80 a
3	41,00 a	42,80 a	39,47 a	58,00 b	27,60 ab	14,40 a
4	43,80 a	44,80 a	43,47 a	52,80 b	37,20 a	10,00 a
5	43,40 a	45,00 a	43,02 a	53,60 b	36,40 a	10,00 a
6	44,40 a	46,40 a	44,12 a	60,80 ab	33,20 ab	6,00 a
7	42,20 a	44,80 a	42,28 a	50,00 b	40,00 a	10,00 a
8	43,00 a	44,40 a	42,70 a	55,60 b	33,60 ab	10,80 a
9	40,80 a	42,80 a	40,57 a	61,60 ab	24,00 ab	14,40 a
10	40,80 a	42,20 a	39,61 a	56,00 b	29,20 ab	14,80 a
CV (%) =	6,23	6,25	6,49	12,99	34,65	47,98

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey($p < 0,05$). T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E) e T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E).

As variáveis primeira e segunda contagem e IVG não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, conforme indicado pelo teste F ($p > 0,05$).

Houve diferença estatística significativa para a variável plântulas normais, com o tratamento controle (T1) apresentando a maior média (76,40%), superior estatisticamente aos demais. Os tratamentos T6 (*Bacillus* sp.) e T9 (*B. subtilis*) apresentaram desempenho intermediário (60,80% e 61,60%, respectivamente), sem diferença significativa em relação ao controle (T1). Em plântulas anormais, observou-se aumento na presença de sementes anormais em todos os tratamentos com inoculantes, sendo os maiores valores registrados em T7 (*B. licheniformes*, 40,00%) e T4 (*P. ananatis*, 37,20%), que diferiram significativamente do controle T1 (14,00%). Essas respostas indicam que algumas cepas utilizadas podem ter causado desequilíbrios fisiológicos no desenvolvimento das plântulas.

Atualmente, não há estudos amplamente documentados que demonstrem desequilíbrios fisiológicos causados por *B. licheniformis* ou *P. ananatis* em milho. No entanto, alguns artigos fornecem pistas sobre potenciais riscos ou efeitos adversos em situações específicas. Como exemplo, no estudo de Shanmugam e Narayanasamy (2008), demonstra a produção de salicilato por *B. licheniformis* em condições otimizadas, o que pode desencadear resistência

sistêmica em plantas. Embora benéfico, o excesso de ácido salicílico pode interferir no crescimento vegetal em algumas culturas e concentrações. Ademais, a bactéria *P. ananatis* é conhecida por ser fitopatogênica, principalmente em arroz, cebola e outras culturas. Sendo assim, sua utilização como inoculante pode promover sintomatologia de murcha, lesões foliares e necroses, dependendo da cepa e das condições do hospedeiro (JIN et al., 2020). Em alguns casos, cepas de *Pantoea spp.* são conhecidas por seus efeitos variáveis, podendo atuar como promotoras ou patogênicas, dependendo da linhagem e das condições ambientais (COSTA et al., 2015).

A variável sementes mortas não apresentou diferença estatística conforme indicado pelo teste F ($p > 0,05$). A alta variabilidade ($CV = 47,98\%$) pode ter mascarado diferenças reais, mas os dados indicam que *Bacillus sp.* pode ter efeito protetor sobre as sementes.

4.2 Avaliação da emergência de plântulas de milho em bandejas com areia

As respostas fisiológicas das sementes de milho à inoculação com as diferentes BPCV em condição de bandejas com areia autoclavada são apresentadas a seguir na Tabela 2. As variáveis analisadas foram primeira e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de emergência (IVE), altura, comprimento de raiz, diâmetro de colmo, área foliar, massa seca de raiz e massa seca da parte aérea. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 2)

Tabela 5 Comparação de médias da primeira e segunda contagem da germinação, índice de velocidade de emergência (IVE), altura de planta (ALT), comprimento de raiz (raiz), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF), massa seca de raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA) de milho.

Tratamento	Primeira contagem	Segunda contagem	IVE	ALT	RAIZ	DC	AF	MSR	MSPA
	%	%	%	cm	cm	dm ²	cm ²	g	g
1	29,25 a	35,00 a	28,53 a	63,83 b	26,77 c	2,69 ab	166,44 bcd	1,51 c	1,81 ab
2	16,50 a	24,25 a	16,85 ab	67,54 ab	31,07 abc	3,00 ab	157,68 dcd	2,47 bc	1,87 ab
3	19,25 a	29,75 a	18,46 ab	73,24 ab	38,48 ab	2,73 ab	167,78 bcd	5,37 a	1,94 ab
4	19,50 a	27,75 a	19,92 ab	66,67 b	30,02 abc	2,94 ab	219,25 abc	3,75 ab	1,97 ab
5	22,75 a	32,25 a	23,22 ab	70,67 ab	33,59 abc	2,92 ab	122,91 d	2,62 bc	1,83 ab
6	25,75 a	33,25 a	21,23 ab	69,37 ab	35,11 abc	2,28 c	130,78 d	1,80 bc	1,67 b
7	22,75 a	32,00 a	21,17 ab	79,72 a	39,45 a	2,61 bc	197,53 abcd	2,31 bc	1,80 ab
8	13,25 a	17,75 a	10,41 b	75,97 ab	36,43 abc	2,75 ab	270,44 a	1,77 bc	2,11 a
9	19,50 a	25,25 a	19,09 ab	69,25 ab	29,90 abc	2,71 ab	247,39 ab	1,65 bc	2,07 ab

10	21,00 a	25,25 a	17,84 ab	67,47 ab	28,54 bc	3,03 a	245,79ab	1,65 bc	1,95 ab
CV (%) =	31,97	28,10	33,73	7,33	13,34	5,97	18,11	36,25	9,43

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey(p<0,05). T1 - controle; T2 - *Azospirillum brasilense*; T3 - *Terribacillus* sp. (SN17); T4 - *Pantoea ananatis* (S30N); T5 - *P. eucrina* (BiF); T6 – *Bacillus* sp. (E9E); T7 - *B. licheniformes* (SN33); T8 – *B. licheniformes* (SC19_1); T9 – *B. subtilis* (E3E) e T10 – *B. zhangzhouensis* (E5E).

As variáveis primeira e segunda contagem não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos conforme indicado pelo teste F ($p > 0,05$). Apesar disso, alguns tratamentos apresentaram valores numéricos superiores em variáveis específicas. O tratamento com *B. licheniformes* (T7) destacou-se na altura de plantas (79,72 cm) e no comprimento radicular (39,45 cm) sendo significativamente superior ao controle (T1) com 63,83 cm e 26,77 cm, respectivamente. Esse aumento do comprimento radicular contribui para melhor absorção de nutrientes e tolerância a estresses (MARQUES et al., 2020). Ainda, o tratamento T8 (*B. licheniformes*), mesma espécie bacteriana de T7, mas coletada de local diferente, apresentou maior área foliar (270,44 cm²) superando estatisticamente o controle (T1 – 166,44 cm²) e apresentou média significativamente maior para a variável massa seca da parte aérea, esses resultados sugerem um efeito positivo na morfologia radicular e auxílio na sobrevivência de substrato pobre em nutrientes. Segundo Akhtar et al. (2020), a inoculação com *B. licheniformis* promove o crescimento de plantas de milho, estimulando o crescimento radicular e aumentando a eficiência no uso da água em condições normais e de estresse hídrico. Além disso, o estudo realizado Khazaal (2011) conclui que *B. licheniformes* além de aumentar o crescimento radicular, aumenta a altura e a área foliar de plantas de milho, corroborando com os resultados dessa pesquisa.

Em relação à massa seca de raiz, o tratamento com *Terribacillus* sp. (T3) promoveu o maior acúmulo (5,37 g), sendo estatisticamente superior a todos os tratamentos, além de T4 (*P. ananatis*). Quanto ao gênero *Terribacillus*, até o momento não foram encontrados estudos científicos específicos que testaram o gênero em milho em termos de crescimento, biomassa de raízes ou promoção vegetal. Embora tenha sido relatado que *T. saccharophilus* possui atividade promotora do crescimento vegetal, não está claro quais parâmetros foram estudados (NITHYA; BABU 2017). Por outro lado, no estudo realizado por Orhan e Demirci (2020) foi demonstrado que *Terribacillus saccharophilus* possui atividade desaminase ACC, enzima crucial para a mitigação de estresses em trigo.

Embora não tenham ocorrido diferenças estatísticas em todas as variáveis, os resultados numéricos sugerem que estirpes de *B. licheniformes* e *Terribacillus sp.* apresentaram maior potencial para promover o desenvolvimento inicial de plantas de milho em substrato pobre em nutriente, especialmente em altura, biomassa radicular e expansão foliar.

O diâmetro do colmo apresentou maior média no tratamento T10 (*B. zhangzhouensis*) e a menor média em T6 (*Bacillus sp.*). Normalmente, observa-se uma tendência de aumento do diâmetro de colmo com o uso de *Bacillus*. Como o estudo de Araujo (2008) que observou aumento do diâmetro do colmo em milho após inoculação com *B. subtilis*.

4.3 Avaliação de variáveis morfométricas das plantas de milho em vaso

O resultado das variáveis morfométricas das plantas de milho em reposta à inoculação com as BPCV que mais se destacaram nos ensaios de germinação e emergência são apresentados a seguir na Tabela 3. As variáveis analisadas foram altura, índice de clorofila, área foliar, diâmetro de caule, massa seca de raiz, massa seca da parte aérea, massa de cem grãos, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, taxa de assimilação líquida de CO². As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 3).

Tabela 6 Comparação de médias das variáveis morfométricas altura de planta (ALT), índice de clorofila (SPAD), área foliar (AF), diâmetro de caule (DC), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa de cem grãos (MCG), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), taxa de assimilação líquida de CO² (A) de plantas de milho em vaso.

Tratament o	ALT cm	SPAD	AF cm ²	DC mm	MSR g	MSPA g	MCG g	NFE	NGF	A μmol CO ² m ⁻² s ⁻¹
1	158,00 b	49,30 a	4496,38 ab	24,74 a	133,54 ab	74,03 a	130,99 a	15,83 ab	31,05 a	33,39 ab
2	179,50 a	47,37 a	3923,96 ab	23,27 a	103,44 b	70,64 a	125,12 a	15,67 ab	30,31 a	41,01 a
5	182,25 a	46,72 a	4595,23 ab	25,37 a	161,02 a	72,09 a	140,70 a	15,33 ab	28,47 a	32,90 ab
6	183,08 a	42,96 a	5015,77 a	23,46 a	129,28 ab	66,41 a	118,39 a	15,00 b	26,22 a	32,54 ab
9	193,42 a	43,66 a	3318,99 b	25,62 a	131,56 ab	69,28 a	140,39 a	16,33 a	25,19 a	28,38 ab
10	185,08 a	41,63 a	3606,01 b	24,53 a	128,92 ab	66,16 a	128,33 a	15,83 ab	28,97 a	24,50 b
CV (%) =	5,68	13,10	17,28	8,18	24,22	8,41	21,65	24,22	14,35	25,06

^{ns}não significativo pelo teste F a 5 % de probabilidade; médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey(p<0,05). T1. Controle - sem inoculação; T2 - *Azospirillum brasilense*; T5 - *P. eucrina*; T6 - *Bacillus sp.*; T9 - *B. subtilis* e T10 - *B. zhangzhouensis*.

Para a variável altura, os tratamentos T2 (*A. brasilense*), T5 (*P. eucrina*), T6 (*Bacillus* sp.), T9 (*B. subtilis*) e T10 (*B. zhangzhouensis*) não diferiram entre si, mas diferiram do controle (T1). De acordo, Almeida et al. (2021) observou as rizobactérias do gênero *Bacillus* aumentaram a altura e o desenvolvimento de plantas de milho. Esse aumento da altura pode estar associado à produção de fitohormônios como o ácido indolacético (AIA), que promovem o alongamento celular de plantas, típico de bactérias do gênero *Bacillus*. Resultados semelhantes foram descritos por Marques et al. (2020), que observaram aumento expressivo na altura de plantas de milho inoculadas com *A. brasilense*. Além disso, o estudo de Araujo e Guerreiro (2010) mostrou que seis isolados de *Bacillus* (BRG-2, CAS-2, NGR-1, PNP-2, PRP-2 e TAC-2) aumentaram significativamente a altura das plantas de milho em condição de vaso.

Para a área foliar, o tratamento T6 (*Bacillus* sp.) apresentou o maior valor (5015,77 cm²) e foi estatisticamente superior aos tratamentos T10 (*B. zhangzhouensis*) e T9 (*B. subtilis*), que apresentaram as menores médias. O número de fileiras por espiga teve destaque para o tratamento T9 (*B. subtilis* -16,33) e diferiu significativamente de T6 (*Bacillus* sp. - 15,00). Os demais tratamentos (1, 2, 5, 10) não diferiram estatisticamente entre si e não diferiram de T9 e T6. Porém, segundo Araujo et al., (2008), a inoculação de milho com *B. subtilis* resultou em maior área foliar e massa seca da parte aérea, indicando promoção clara de crescimento vegetal.

A taxa de assimilação líquida de CO² (A) apresentou maior valor para o tratamento T2 (*A. brasilense*) e diferiu significativamente apenas de T10 que apresentou a menor média (24,50). Esse resultado é corroborado por um estudo realizado na região amazônica, em que a inoculação de sementes de milho com *A. brasilense* aumentou a taxa fotossintética em 31% mesmo na ausência de adubação nitrogenada (CARVALHO-ZONTA et al., 2024). Outro estudo realizado por Swędrzyńska e Sawickaa (2000) observou que a inoculação com *A. brasilense* aumentou de maneira significativa a atividade da nitrogenase e o teor de clorofila nas folhas de milho, mostrando clara melhora na capacidade fotossintética.

Nenhum dos tratamentos diferiu significativamente em relação ao diâmetro do colmo, índice de clorofila, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa de cem grãos, número de grãos por fileira.

5 CONCLUSÃO

B. licheniformes promoveu o crescimento das plantas de milho, aumentando a altura, o comprimento de raiz, a área foliar e a massa seca da parte aérea. *Terribacillus* sp. promoveu o aumento da massa seca de raiz das plantas de milho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGBODJATO, N.A., *et al.* Synergistic Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Chitosan on In Vitro Seeds Germination, Greenhouse Growth, and Nutrient Uptake of Maize (*Zea mays* L.). **Biotechnology Research International**, 7830182, p. 11, 2016.

AKHTAR, S. S. *et al.* *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, 297, 2020.

ALMEIDA, J. R. de *et al.* *Bacillus* sp. RZ2MS9, a tropical PGPR, colonizes maize endophytically and alters the plant's production of volatile organic compounds both independently and when co-inoculated with *Azospirillum brasilense* Ab-V5. **bioRxiv**, 2021.

ARAÚJO, F. F. de. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n.2, 2008.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, 104276, 2022.

BRASIL - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA/ACS, p. 399, 2009.

BULEGON, L. G. *et al.* Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 277–286, 2016.

CARVALHO, H. W. L.; *et al.* Maize seed inoculated with *Azospirillum brasilense* as strategy to improve photosynthetic nitrogen use efficiency in the Amazonian periphery. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, p. 4017–4032, 2024.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) - **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 10º levantamento** – julho 2025. Brasília, DF: CONAB, 2025.

COSTA, J. M. *et al.* Pathogenicity and growth promotion by endophytic bacteria in soybean. **Plant Pathology Journal**, v. 31, n. 4, p. 402–409, 2015.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) - **FAOSTAT Statistical Database**. Roma: FAO, 2024.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

GIRODKAR, S., THAWALE, P., JUWARKAR, A. Chapter 12 - bacteria-assisted phytoremediation of heavy metals and organic pollutants: challenges and future prospects. *In: Bioremediation for environmental sustainability*. Eds. Kumar V., Saxena G., Shah M. P. (USA: Elsevier), 2021, p. 247–267.

GOBBI, K. F. *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125–131, 2016.

JIN, P. *et al.* Antimicrobial effect of *Bacillus licheniformis* HN-5 bacitracin A on rice pathogen *Pantoea ananatis*. **BioControl**, v. 66, p. 249–257, 2020.

JU, W., *et al.* Rhizobacteria inoculation benefits nutrient availability for phytostabilization in copper contaminated soil: Drivers from bacterial community structures in rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v. 150, 103450, 2020.

KHAZAAL, A. Q. *Bacillus Licheniformis* BS12 AS Biofertilizers to Improve Maize Growth. **Iraqi Journal of Science**, v. 53, n. 1, p. 37-43, 2011.

LIM, J. A., *et al.* Draft genome sequence of *Pantoea agglomerans* R190, a producer of antibiotics against phytopathogens and foodborne pathogens. **Journal of Biotechnology**, v. 188, p. 7–8, 2014.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n.1, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: **Abrates**, p. 659, 2015.

MARQUES, D. M. *et al.* *Azospirillum brasilense* favors morphophysiological characteristics and nutrient accumulation in maize cultivated under two water regimes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, e1152, 2020.

MISHRA, A., *et al.* Rhizosphere competent *Pantoea agglomerans* enhances maize (*Zea mays*) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, without altering the rhizosphere functional diversity. **Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 100, p. 405–413, 2011.

NITHYA, A.; BABU, S. Prevalence of plant beneficial and human pathogenic bacteria isolated from salad vegetables in India. **BMC Microbiology**, v. 17, n. 1, p. 64, 2017.

OLIVEIRA, T. A. G. *et al.* Isolation and characterization of rhizospheric and endophytic bacteria from *Cyperus haspan* for the production of bioinoculants. *In: 32° Congresso de Microbiologia*, 2023, Foz do Iguaçu. 32° Congresso de Microbiologia, 2023.

ORHAN, F.; DEMIRCI, A. Salt Stress Mitigating Potential of Halotolerant/Halophilic Plant Growth Promoting. **Geomicrobiology Journal**, p. 1–7, 2020.

SALOMON, M. V., PURPORA, R., BOTTINI, R., PICCOLI, P. Rhizosphere associated bacteria trigger accumulation of terpenes in leaves of *Vitis vinifera* L. cv. Malbec that protect cells against reactive oxygen species. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 295–304, 2016.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 5.ed. Brasília, 2018.

SANTOS, M. S., NOGUEIRA, M. A., HUNGRIA, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present, and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, p. 205, 2019.

SHANMUGAM, P.; NARAYANASAMY, M. Optimization and production of salicylic acid by rhizobacterial strain *Bacillus licheniformis* MML2501. **The Internet Journal of Microbiology**, v. 6, 2008.

SWĘDRZYŃSKA, H.; SAWICKA, D. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on nitrogenase activity, chlorophyll content and yield of maize under different nitrogen fertilization levels. **Biologia Plantarum**, v. 43, n. 4, p. 579–583, 2000.

ZAHOOR, S., *et al.* Rhizosphere bacteria associated with *Chenopodium quinoa* promote resistance to *Alternaria alternata* in tomato. **Scientific Reports**, v. 12, 19027, 2022.

ZHANG X., *et al.* Enhanced Cd phytostabilization and rhizosphere bacterial diversity of *Robinia pseudoacacia* L. by endophyte *Enterobacter* sp. YG-14 combined with sludge biochar. **Science of the Total Environment**, v. 787, 147660, 2021.