



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA

**INTERAÇÃO ENTRE *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense* NO
DESEMPENHO PRODUTIVO DA SOJA**

CLÉVERSON FELIPE CARDOSO

Presidente Prudente - SP
2025

**INTERAÇÃO ENTRE *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense* NO
DESEMPENHO PRODUTIVO DA SOJA**

CLÉVERSON FELIPE CARDOSO

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia P. Santos

Catálogo Internacional de Publicação (CPI)

631.460 Cardoso, Cléverson Felipe
C268i Interação entre *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense* no
desempenho produtivo da soja / Cléverson Felipe Cardoso. --
Presidente Prudente, 2025.
47 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste
Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2025.
Bibliografia.
Orientador: Ana Cláudia P. Santos

1. Bioestimulante. 2. Produto biológico. 3. Antioxidantes não
enzimáticos. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “INTERAÇÃO ENTRE *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense* NO DESEMPENHO PRODUTIVO DA SOJA”

AUTOR(A): CLÉVERSON FELIPE CARDOSO

ORIENTADOR(A): Profa. Dra. Ana Claudia Pacheco Santos

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA CLAUDIA PACHECO SANTOS (orientadora)

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. NELSON BARBOSA MACHADO NETO

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Profa. Dra. JULIANA PEREIRA BRAVO

UNILASALLE - Universidade La Salle / Lucas do Rio Verde (MT)

Data da realização: Presidente Prudente, 24 de março de 2025.

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 25/03/2025 20:23
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 3
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6072924)

Signatários do documento

JULIANA PEREIRA BRAVO (SIGNATÁRIO EXTERNO)

juliana.bravo@unilasalleluucas.edu.br

Recebido em 25/03/2025 20:23

Assinado em 26/03/2025 08:04

Assinatura Interna UNOESTE

Usando endereço IP: 187.50.90.154

ID da assinatura: 4588796

ANA CLAUDIA PACHECO SANTOS (PROFESSOR)

anaclau@unoeste.br

Recebido em 25/03/2025 20:23

Assinado em 26/03/2025 14:46

Assinatura Interna UNOESTE

Usando endereço IP: 177.131.39.1

ID da assinatura: 4588797

NELSON BARBOSA MACHADO NETO (PROFESSOR)

nbnmneto@unoeste.br

Recebido em 25/03/2025 20:23

Assinado em 25/03/2025 22:11

Assinatura Interna UNOESTE

Usando endereço IP: 2804:7f0:90b2:a002:c865:7371:9a4a:3fac

ID da assinatura: 4588798

URL do documento: <https://www.unoeste.br/ca/cef2c708>

Assinatura digital do documento: 3144ada8de1f327ad35a9de462a829df2ecaf1fd051ba69ba3e96db96123a44d

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:



DEDICATÓRIA

Eu dedico este trabalho de Mestrado a Deus, pela sua graça e misericórdia que me permitiram chegar até aqui. Que Ele continue a me guiar e abençoar neste caminho de aprendizado e crescimento acadêmico. Que tudo o que eu faça seja para a Sua glória e honra. Amém.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha orientadora, Prof. Dra. Ana Cláudia Pacheco Santos, uma profissional exemplar e dedicada, que me guiou com sabedoria e paciência ao longo de todo este percurso. Agradeço de coração por sua compreensão, disponibilidade e confiança em mim. Este mestrado também é seu, pois sem você eu não teria conseguido chegar até aqui. Obrigado por acreditar em mim e por ser uma mentora tão extraordinária.

Agradeço aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNOESTE, por compartilharem seu conhecimento e por toda a dedicação e profissionalismo: Adriana Lima Moro, Alexandrius de Moraes Barbosa, Carlos Sérgio Tiritan, Ceci Castilho Custódio, Edgard Henrique Costa Silva, Fabio Fernando de Araujo, Nelson Barbosa Machado Neto e Tiago Aranda Catuchi.

Uma grande obra só se faz com grandes aliados! Agradeço as contribuições de amigos que foram essenciais para o sucesso deste trabalho e sou imensamente grato a cada um deles: Fabiana Fava, Felipe Biazola de Grande, Ivalino Xavier Neto, Josiane Castanho e Taina Ferreira do Nascimento.

Agradeço às empresas e instituições que contribuíram para a instalação e execução dos experimentos: Ballagro Agro Tecnologia e Centro de Pesquisa Kasuya.

Agradeço a mim por mais esta conquista, por não desistir de mim e por continuar lutando em busca dos meus objetivos. Agradeço por minha determinação, minha força de vontade e por nunca deixar de acreditar em mim mesmo. Continuarei seguindo em frente buscando ser 0,1% melhor a cada dia.

“...Eis que faço novas todas as coisas...”
(Apocalipse 21:5)

"Passei anos aprendendo sobre o mundo, mas
agora é hora de aprender sobre as coisas de Deus".
(Cléverson F. Cardoso)

RESUMO

Interação entre *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense* no desempenho produtivo da soja

A soja é uma cultura de grande importância no agronegócio brasileiro, caracterizada por sua adaptabilidade em todas as regiões do país. A demanda por soluções tecnológicas que aumentem a produtividade das culturas é constante, principalmente devido à alta frequência de eventos climáticos extremos, como seca e alta temperatura. A utilização de bioestimulantes é uma dessas soluções, pois estes produtos atuam positivamente em processos fisiológicos da planta e promovem tolerância ao estresse. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência dos bioestimulantes à base das rizobactérias *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense*, aplicados via tratamento de sementes, de forma isolada ou em interação, sobre a cultura da soja. Foram realizados dois experimentos em condições de campo no município de Lucas do Rio Verde – MT, durante a safra 2023/2024. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: T1 = controle, T2 = tratamento da semente com *A. brasilense* (5 ml para 2,5 Kg de sementes), T3 = tratamento da semente com *B. aryabhattai* (5 ml para 2,5 kg de semente) e T4 = tratamento da semente com *A. brasilense* + *B. aryabhattai*. As variáveis analisadas foram divididas em análises bioquímicas (carboidratos solúveis totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais) e análises biométricas e de produção (altura de plantas, distância entre nós, densidade de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos e produtividade). Foram observados aumentos nos teores foliares de compostos fenólicos totais, sugerindo que os microrganismos utilizados promoveram o sistema antioxidante das plantas de soja. Entretanto, em relação aos parâmetros biométricos e de produção, não houve diferença significativa entre os tratamentos, indicando que as doses aplicadas de *B. aryabhattai* e *A. brasilense* podem não ter sido suficientes para otimizar os processos fisiológicos da soja e aumentar a produtividade da cultura, nas condições analisadas.

Palavras-chave: bioestimulante; produto biológico; antioxidantes não enzimáticos.

ABSTRACT

Interaction between *Bacillus aryabhattai* and *Azospirillum brasilense* on soybean productivity

Soybean is a crop of great importance in Brazilian agribusiness, characterized by its adaptability to all regions of the country. The demand for technological solutions that increase crop productivity is constant, mainly due to the high frequency of extreme weather events, such as drought and high temperatures. The use of biostimulants is one of these solutions, as these products act positively on the plant's physiological processes and promote stress tolerance. This study aimed to evaluate the efficiency of biostimulants based on the rhizobacteria *Bacillus aryabhattai* and *Azospirillum brasilense*, applied via seed treatment, alone or in interaction, on soybean crops. Two experiments were carried out under field conditions in the municipality of Lucas do Rio Verde - MT, during the 2023/2024 harvest. The design used was randomized blocks, with four treatments and five replications. The treatments were: T1 = control, T2 = seed treatment with *A. brasilense* (5 ml for 2.5 kg of seeds), T3 = seed treatment with *B. aryabhattai* (5 ml for 2.5 kg of seeds) and T4 = seed treatment with *A. brasilense* + *B. aryabhattai*. The variables analyzed were divided into biochemical analyses (total soluble carbohydrates, total phenolic compounds and total flavonoids) and biometric and production evaluations (plant height, distance between nodes, plant density, number of pods per plant, number of grains per pod, thousand-grain weight and productivity). Significant changes were observed in the leaf contents of total phenolic and flavonoid compounds, suggesting that the microorganisms used acted on the antioxidant system of soybean plants. However, in relation to the biometric and production parameters, there was no significant difference between the treatments, indicating that the applied doses of *B. aryabhattai* and *A. brasilense* may not have been sufficient to optimize the physiological processes of soybean and increase crop productivity under the conditions analyzed.

Keywords: biostimulant; biological product; non-enzymatic antioxidants.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Resultados da análise química do solo da área da Fazenda Escola (FE) do Unilassale. Lucas do Rio Verde – MT, 2024.....	25
Tabela 2 —	Resultados da análise química do solo da Estação de Pesquisa Kasuya (CPK). Lucas do Rio Verde – MT, 2024.....	25
Tabela 3 —	Descrição dos tratamentos de sementes utilizados em ambos os experimentos.....	27
Tabela 4 —	Concentração foliar de açúcares solúveis totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais em plantas de soja, em resposta aos tratamentos de semente, na área CPK.....	36
Tabela 5 —	Concentração foliar de açúcares solúveis totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais em plantas de soja, em resposta aos tratamentos de semente, na área Fazenda Escola..	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1A —	Temperatura média, máxima e mínima no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde – MT.....	24
Figura 1B —	Precipitação média no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde – MT.....	25
Figura 2 —	Número de plantas de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B) em resposta a diferentes tratamentos de semente.....	31
Figura 3 —	Altura de plantas de soja aos 90 dias após a semeadura nos experimentos em resposta aos tratamentos de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	32
Figura 4 —	Número de vagens por planta de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	33
Figura 5 —	Quantidade de grãos em plantas de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	33
Figura 6 —	Peso de mil grãos (g) em plantas de soja em resposta a tratamentos da semente com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	34
Figura 7 —	Número de entre nós em plantas de soja em resposta a tratamentos de semente com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	34
Figura 8 —	Produtividade em sacas por hectare na cultura da soja em função do tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	HIPÓTESE.....	14
3	OBJETIVO.....	15
4.1	A cultura da soja.....	16
4.1.1	Histórico, origem e cultivo.....	16
4.1.2	Importância econômica.....	17
4.2	Estresses abióticos na cultura da soja.....	17
4.3	Bioestimulantes.....	18
4.3.1	<i>Azospirillum brasilense</i>	20
4.3.2	<i>Bacillus aryabhattai</i>	21
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1	Instalação do experimento.....	24
5.2	Parcela, delineamento experimental, cultivar de soja e tratamentos químicos nas sementes.....	26
5.3	Descrição dos tratamentos.....	27
5.4	Análises bioquímicas foliares.....	28
5.4.1	Compostos fenólicos totais.....	28
5.4.2	Flavonóides Totais.....	29
5.4.3	Açúcares solúveis totais.....	29
5.5	Variáveis biométricas e de produção.....	30
5.6	Análise estatística.....	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
8	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja é uma das mais importantes para a economia e a agricultura do Brasil. Originária da Ásia, essa leguminosa fornece grãos ricos em proteínas e óleos, usados na alimentação humana e animal, além de outros produtos industriais. O sucesso da cultura da soja depende de um manejo cuidadoso.

O cultivo da soja envolve inúmeras etapas, desde a escolha das cultivares adequadas para cada região, o preparo do solo, a semeadura, o manejo fitossanitário, a adubação e fertilização, a colheita e o armazenamento, sendo que todas elas comprometem diretamente o desenvolvimento e produtividade da cultura.

Entre as alternativas para potencializar o bom desenvolvimento da cultura, destaca-se a utilização de produtos bioestimulantes de plantas. Esses produtos de origem biológica são frequentemente incluídos nas práticas de manejo agrícola que visam reduzir a utilização de insumos químicos, aumentar a produtividade e recuperar o equilíbrio natural em agroecossistemas. Os bioestimulantes são classificados de acordo com a sua composição e modo de ação, em microbianos e não microbianos. Os bioestimulantes microbianos contém microorganismos benéficos que interagem com as plantas, como as rizobactérias e os fungos micorrízicos arbusculares. Já os bioestimulantes não microbianos contém compostos derivados de plantas, animais ou minerais como por exemplo, os extratos de alga marinha, os ácidos húmicos e fúlvicos, os aminoácidos e hidrolisados de proteína e os ácidos salicílico e jasmônico.

Os bioestimulantes podem atuar localmente, afetando órgãos específicos da planta, ou ser translocados para outras partes, exercendo uma influência positiva sobre processos fisiológicos. Estudos apontam para um grande potencial nos bioestimulantes em aumentar a biomassa vegetal, o rendimento da cultura e a resistência a múltiplos tipos de estresse.

O uso de bioestimulantes na cultura da soja tem sido amplamente estudado em diferentes estádios fenológicos, com o objetivo de otimizar processos fisiológicos da planta e refletir em aumento de produtividade. Os bioestimulantes podem ser aplicados via tratamento de sementes, aplicação no sulco de plantio e aplicação foliar. As aplicações são realizadas em diferentes estádios fenológicos, tanto no vegetativo quanto no reprodutivo.

A espécie *Bacillus aryabhatai* é uma rizobactéria gram-positiva que tem sido objeto de estudos por sua capacidade de promover benefícios às plantas cultivadas. A indução de mecanismos de proteção a estresses abióticos e bióticos é um destaque para o *B. aryabhatai*. Esta rizobactéria pode produzir diferentes compostos antimicrobianos que protegem as plantas hospedeiras de patógenos; bem como compostos antioxidantes que auxiliam a tolerância das plantas a condições ambientais adversas, como estresse hídrico, estresse salino e altas temperaturas.

A inoculação de plantas de soja com *B. aryabhatai* tem sido relacionada a um incremento significativo no crescimento da planta, incluindo maior altura, desenvolvimento radicular e biomassa total. A bactéria pode auxiliar na solubilização de nutrientes, como fósforo e potássio, tornando-os disponíveis para as plantas, o que resulta em melhores índices de nutrição. Os estudos têm mostrado que a aplicação de *B. aryabhatai* pode aumentar a atividade de enzimas essenciais, promovendo uma melhor resposta ao estresse ambiental. A presença dessa rizobactéria tem sido associada a resistência a condições adversas, como seca e salinidade.

Azospirillum brasilense é uma bactéria de vida livre que pertence ao grupo das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPRs). Ela é amplamente utilizada na agricultura devido à sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, estimular o crescimento radicular e aumentar a eficiência da absorção de nutrientes, sendo especialmente aplicada em gramíneas como milho, trigo, arroz e pastagens.

A inoculação de sementes de soja com *Azospirillum brasilense* é uma técnica comprovada para promover a fixação biológica do nitrogênio nesta cultura. No entanto, há uma lacuna nos estudos sobre a utilização conjunta de *B. aryabhatai* e *A. brasilense* na cultura da soja.

2 HIPÓTESE

Neste estudo foi considerada a hipótese de que a rizobactéria *Bacillus aryabhatai* atua como bioestimulante na cultura da soja, com ação positiva sobre o metabolismo da planta e a produção. Considerou-se, ainda, que poderia haver otimização da resposta de produção pela interação positiva entre microrganismos na aplicação conjunta de *B. aryabhatai* e *A. brasilense*.

3 OBJETIVO

O objetivo foi avaliar a eficiência da utilização de *B. aryabhatai* no tratamento de sementes sobre o desempenho produtivo da soja. Adicionalmente, foi avaliada a interação entre *B. aryabhatai* e *A. brasilense* na potencialização da produtividade.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da soja

4.1.1 Histórico, origem e cultivo

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na safra de 2022/2023, a área cultivada com soja no Brasil atingiu um novo recorde, com 43,4 milhões de hectares, o que representa um aumento de 3,8% em relação à safra anterior. A produção total de soja também cresceu, alcançando 154,6 milhões de toneladas, impulsionada pela produtividade média de 3.562 kg/ha.

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma leguminosa originária da China e uma importante fonte de proteínas para humanos e animais (Landau *et al.*, 2020). O consumo crescente de soja e seus derivados têm resultados em uma maior demanda por sua produção.

A soja é uma das principais culturas em cinco países na América do Sul, ocupando cerca de 63% da área total cultivada (CONAB, 2024). No Brasil, o cultivo de soja é realizado em quase todo o território nacional, caracterizando-a como uma das principais commodities do país e contribuindo significativamente para o produto interno bruto (PIB) nacional (CONAB, 2024). O consumo elevado de soja refere-se aos derivados da matéria-prima, como o consumo humano, rações animais e óleo vegetal (Silva *et al.*, 2010).

A soja é a quarta cultura mais cultivada do mundo em termos de área colhida e produção (FAO, 2020). No entanto, a produção de soja é amplamente afetada por vários estresses abióticos, sendo a seca um importante fator ambiental que limita a produção em todas as áreas cultivadas (Purcell; Specht, 2004). O principal motivo para o aumento da produtividade da soja foi uma maior área de produção, relacionada a um menor aumento da produtividade de grãos (Oliveira, 2022).

A soja é uma cultura de grande importância econômica e nutricional, tanto para o Brasil quanto para o mundo. No entanto, a produção de soja enfrenta desafios significativos, como a seca e outros estresses abióticos. É necessário investir em pesquisas e tecnologias que visem aumentar a produtividade da soja de forma sustentável, a fim de atender à crescente demanda dessa leguminosa.

4.1.2 Importância econômica

A soja é uma cultura de grande importância econômica e nutricional no Brasil, pois é a principal cultura do agronegócio nacional e uma das principais fontes de exportação. Cultivada em cerca de 35 milhões de hectares, representa em torno de 4% do território nacional. Também é responsável por aproximadamente 15% das receitas cambiais brasileiras, como o principal produto da pauta de exportação do país.

A soja é uma das principais fontes de proteína vegetal do mundo e é utilizada na alimentação humana e animal. Além disso, a soja é utilizada na produção de óleo vegetal, biodiesel, ração animal e outros produtos. A soja contribui para a diversificação de culturas, bem como para a melhoria da fertilidade do solo por meio da fixação biológica de nitrogênio e ainda contribuir para o desenvolvimento econômico e social do país.

Atualmente, o sucesso da produção da soja no Brasil deve-se ao início do setor avícola durante a década de 1950 na região Sul dos Estados Unidos da América (Johnson; White; Galloway, 2015). Pesquisadores norte-americanos procuraram adaptar a soja a latitudes baixas, a fim de fornecer aos avicultores do Sul uma refeição proteica local de alta qualidade.

Essas novas variedades tornaram-se a abertura para os brasileiros. Os pesquisadores utilizaram a tecnologia de baixa latitude e desenvolveram germoplasma que poderia ser implantado com potencial de ser implantado nos três estados do Sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) com um clima de crescimento semelhante ao do sul dos Estados Unidos (Schnepf; Dohlman; Bolling, 2001). A indústria da soja no Brasil começou no Sul do país no final dos anos 1960, e apoiou-se tanto o processamento da soja quanto a produção de aves.

4.2 Estresses abióticos na cultura da soja

A cultura da soja, de extrema importância para a economia brasileira e global, enfrenta diversos desafios relacionados a estresses abióticos, que são condições ambientais adversas que afetam o desenvolvimento e a produtividade da planta. Entre os principais, destacam-se o estresse hídrico (falta ou excesso de água) e o

estresse por calor, que podem ocorrer em diferentes fases do ciclo da cultura, causando danos significativos e perdas na produção (Ashraf; Harris, 2013).

O estresse hídrico, especialmente a deficiência de água, é um dos fatores limitantes na cultura da soja (Mittler, 2006). A falta de água afeta diretamente a fotossíntese, o transporte de nutrientes e o crescimento da planta, resultando em menor desenvolvimento foliar, redução do número de vagens e grãos por vagem, e diminuição do tamanho dos grãos. Em estágios críticos, como a floração e o enchimento de grãos, a deficiência hídrica pode levar à abscisão de flores e vagens, comprometendo severamente o rendimento da cultura (Rahimi *et al.*, 2022).

Temperaturas elevadas podem causar danos às proteínas e enzimas essenciais para o metabolismo da planta, além de aumentar a taxa de transpiração, levando à desidratação e ao fechamento dos estômatos (Ferrari, Paz; Silva, 2015). Isso resulta em redução da fotossíntese e do crescimento, afetando a produção de biomassa e o rendimento da cultura.

A combinação do estresse hídrico e por calor pode potencializar os efeitos negativos sobre a cultura da soja. O déficit hídrico torna a planta vulnerável ao estresse por calor, pois a transpiração é um dos principais mecanismos de resfriamento da planta. Quando a água é limitada, a planta não consegue regular sua temperatura interna, tornando-se suscetível aos danos causados pelo calor.

Diante dos desafios impostos pelos estresses abióticos, são fundamentais o desenvolvimento e a implementação de estratégias de manejo que visem mitigar seus impactos negativos na cultura da soja. Isso inclui a utilização de cultivares tolerantes ao estresse hídrico e por calor, o manejo adequado do solo para aumentar a capacidade de retenção de água, a adoção de práticas de irrigação e a utilização de técnicas de sombreamento ou resfriamento da planta em situações de estresse por calor.

4.3 Bioestimulantes

O tratamento de plantas com preparações a base compostos naturais pode promover vantagens produtivas. Os produtos bioestimulantes não apenas promovem o crescimento e o desenvolvimento das plantas, mas sua aplicação leva à redução de custos e ao aumento da eficácia da fertilização da cultura (Brown; Saa, 2015; Van

Oosten *et al.*, 2017). Suas múltiplas vantagens também incluem o aumento da tolerância das culturas aos estresses bióticos e abióticos. A adição de bioestimulantes para melhoria das condições de solo e desenvolvimento das plantas é uma das alternativas para obtenção de aumento na produção de alimentos sem a abertura de novas áreas e com redução de custos e impactos ambientais (Lovatto, 2020).

Os bioestimulantes são definidos como produtos formulados principalmente à base de matérias-primas naturais, os quais são utilizados em pequenas doses para modificação de processos fisiológicos e bioquímicos da planta, com o objetivo de realização completa do seu potencial genético de produtividade. Estes compostos contribuem para as culturas com alterações estruturais, melhorias na produtividade e qualidade do produto (Vendruscolo *et al.*, 2017).

Dentre os mecanismos de ação dos produtos bioestimulantes destacam-se as mudanças no estado hormonal da planta, a ativação de processos metabólicos, o aumento da eficiência da absorção de nutrientes, a estimulação do crescimento e o desenvolvimento e fortalecimento da capacidade de resistir aos efeitos negativos de vários fatores de estresse (pela ativação de antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos) (Yakhin *et al.*, 2017).

Os bioestimulantes são classificados de acordo com a sua composição e modo de ação, em microbianos e não microbianos. Os bioestimulantes microbianos contém microorganismos benéficos que interagem com as plantas, como as rizobactérias e os fungos micorrízicos arbusculares. Já os bioestimulantes não microbianos contém compostos derivados de plantas, animais ou minerais como por exemplo, os extratos de alga marinha, os ácidos húmicos e fúlvicos, os aminoácidos e hidrolisados de proteína e os ácidos salicílico e jasmônico (Yakhin *et al.*, 2017).

O mercado de produtos apresenta formulações específicas capazes de influenciar benéficamente o crescimento, desenvolvimento e desempenho agrônomo da planta. A maioria dos bioestimulantes em uso hoje são misturas complexas de produtos químicos derivados de um processo biológico ou extração de materiais biológicos. A complexidade dessas misturas é, na maioria das vezes, considerada essencial para o desempenho do bioestimulante. As diferentes moléculas orgânicas presentes no bioestimulante atuam em sinergismo, colaborando com o desenvolvimento das culturas (Yakhin *et al.*, 2017).

A eficácia dos bioestimulantes é determinada por muitos fatores, os quais incluem a escolha apropriada das preparações, a dose utilizada, o método de aplicação; a frequência de aplicações, bem como as espécies e cultivares de plantas, o estágio de desenvolvimento da cultura no momento da aplicação (Santos *et al.*, 2013). Além disso, as condições do solo (disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica) e fatores ambientais (temperatura e precipitação) também são fatores decisivos para a obtenção de melhores resultados e otimização do uso de bioestimulantes.

4.3.1 *Azospirillum brasilense*

As leguminosas, como a soja, atendem a demanda por nitrogênio (N) por meio de um processo denominado fixação biológica de N (Cerezini, 2013). A soja forma uma relação simbiótica com a bactéria rizóbio do solo (*Bradyrhizobium japonicum*) para converter ou "fixar" o N atmosférico em amônia (NH₃), uma forma utilizável pela planta (Gris; Castro; Oliveira, 2005).

A fixação biológica do nitrogênio também pode ser realizada com outros microrganismos, entre eles o *Azospirillum brasilense*. Trata-se de uma bactéria gram-negativa de vida livre, que vive na rizosfera e coloniza o interior das raízes de diferentes culturas. Ela converte o nitrogênio atmosférico (N₂) em formas assimiláveis pela planta, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados. Além disso, algumas cepas de *A. brasilense* promovem a solubilização de fósforo no solo, tornando este nutriente disponível para as plantas. Sua inoculação pode ser realizada através do tratamento de sementes, via solo ou em pulverização foliar, promovendo a qualidade fisiológica de sementes e futuras plantas (Fibach-Paldi; Burdman; Okon, 2012) e o aumento na produtividade da cultura da soja (Fukami; Cerezini; Hungria 2018).

A co-inoculação de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum* é prática adotada nas áreas de cultivos de soja no Brasil (Braccini *et al.*, 2016). Além da fixação biológica de nitrogênio e da solubilização de fósforo no solo, as bactérias do gênero *Azospirillum* fazem parte das rizobactérias promotoras de crescimento vegetal, capazes de estimular o crescimento e a ramificação do sistema radicular (Santos, 2020), melhorando sua eficiência de absorção de água e nutrientes e

conferindo, portanto, maior tolerância ao estresse hídrico e nutricional. Esta ação de promoção do crescimento radicular ocorre por meio da produção dos fitohormônios auxinas, giberelinas e citocininas.

Moléculas sintetizadas por *A. brasilense* podem tornar as plantas tolerantes aos estresses abióticos e bióticos, tais como o ácido salicílico e o ácido jasmônico. Estes hormônios são sinalizadores para as plantas, ativando mecanismos bioquímicos de defesa e tolerância ao estresse. Em estudos realizados por Naoe *et al.* (2020), a co-inoculação ou aplicação de exsudatos de *A. brasilense* em plantas de soja já inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. resultou em aumentos notáveis nos teores de nitrogênio na parte aérea, no peso seco e no rendimento de grãos, em comparação com a inoculação exclusiva com *Bradyrhizobium* spp.

A fixação biológica de nitrogênio e a co-inoculação de *A. brasilense* são estratégias para melhorar a produtividade e a qualidade da cultura da soja. A combinação dessas técnicas pode proporcionar benefícios adicionais, como aumentar a tolerância das plantas aos estresses e a melhoria de parâmetros morfológicos.

4.3.2 *Bacillus aryabhattai*

Bacillus aryabhattai é uma bactéria gram-positiva isolada e identificada em 2009 (Shivaji *et al.*, 2009), pertencente ao grupo de rizobactérias, habitantes na região da rizosfera de plantas, próxima as raízes. As rizobactérias colonizam as raízes das plantas, estabelecendo uma relação simbiótica. Sua utilização na agricultura apresenta diversos benefícios, entre eles, pode-se destacar aumento de tolerância de plantas cultivadas aos estresses abióticos (Kavamura, 2012), como seca, salinidade e altas temperaturas.

Os benefícios da aplicação de *B. aryabhattai* como bioestimulante em cultivos agrícolas são diversos. Em destaque cita-se o aumento da produtividade, como estudos que apontaram incrementos de até 20% em algumas culturas. A melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, os aumentos em parâmetros agrônômicos como matéria seca, peso de grãos e a relevância na redução da utilização de fertilizantes e agrotóxicos destacam a importância da adoção desta tecnologia para

a promoção de sustentabilidade da agricultura (Li, *et al.*, 2021; Arora; Johri, 2022; Kumar; Kumar, 2022).

Bacillus aryabhattai pode ser utilizado no controle de doenças fúngicas e bacterianas em plantas. A bactéria produz compostos antimicrobianos que inibem o crescimento de patógenos. Estudos de Nabi *et al.* (2021) apresentaram resultados no controle da podridão da raiz do tomate causada por *Fusarium oxysporum* com inoculações de *B. aryabhattai*. Pandey *et al.* (2015), em pesquisas realizadas no manejo de mancha bacteriana do feijoeiro causada por *Pseudomonas syringae*, relataram resultados expressivos no controle da doença para os tratamentos com a rizobactéria.

Bacillus aryabhattai é capaz de fixar nitrogênio atmosférico, um nutriente essencial para o crescimento das plantas. Essa capacidade pode reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados químicos, diminuindo os custos e os impactos ambientais da agricultura (Souza, 2024).

As rizobactérias promovem aumento da disponibilidade de nutrientes minerais do solo, promovendo sua solubilização e tornando-os acessíveis para a absorção das plantas cultivadas. Adicionalmente, as rizobactérias podem estimular a produção de hormônios vegetais tais como auxinas, giberelinas e citocininas, que estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Yadav; Singh; Singh, 2022).

Bacillus aryabhattai contribui para a promoção do crescimento vegetal (Figueira *et al.*, 2019), além disso, as espécies do gênero *Bacillus* são caracterizadas como promissoras em realizar a solubilização de fosfato, sendo utilizadas como bioinoculante para maximizar o desenvolvimento vegetal de gramíneas e leguminosas e a eficiência nutricional das culturas (Ahmad *et al.*, 2019).

A inoculação de plantas de soja e trigo com cepas de *B. aryabhattai* isolados da rizosfera de soja foi realizada via tratamento de semente (1 ml de solução com 1×10^8 UFC ml⁻¹ por semente), em plantas envasadas. Houve maior atividade da enzima desidrogenase e β - glicosidase, maior respiração microbiana e maior carbono na biomassa microbiana no solo. Já nas plantas, foi verificada uma maior concentração de zinco e maior crescimento na parte aérea e na raiz, tanto no trigo como na soja (Ramesh *et al.*, 2014).

Estudos realizados por Park *et al.* (2017) mostraram resultados promissores com a cepa SRB02 de *B. aryabhattai* quanto à tolerância ao estresse oxidativo

ocasionado por calor e na promoção do crescimento das plantas de soja. A inoculação ocorreu via irrigação do solo e as plantas tratadas apresentaram maior concentração de ABA e fechamento estomático, além de maiores concentrações dos hormônios ácido indol acético (AIA), ácido jasmônico e ácido giberélico (GAs).

Em estudos de Zhao *et al.* (2020) destacam o potencial promissor de *B. aryabhattai* Sneb517 como um agente de biocontrole eficaz no controle do nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*), reduzindo significativamente as populações de cistos e juvenis. Embora o tratamento não tenha afetado o crescimento e o rendimento das plantas de soja, a bactéria pode ser uma ferramenta valiosa para o manejo sustentável de *H. glycines*, especialmente em sistemas de cultivo que buscam o uso de agroquímicos.

Bacillus aryabhattai apresenta um grande potencial como inoculante microbiológico para melhorar o crescimento inicial e a produção de matéria seca da cultura do milho. A dose ideal de inoculante ficou entre 20 e 22 ml/kg de semente (Steiner *et al.*, 2024), o que pode beneficiar o uso dessa tecnologia sustentável tanto no Brasil quanto no cenário agrícola global.

5 MATERIAL E MÉTODOS

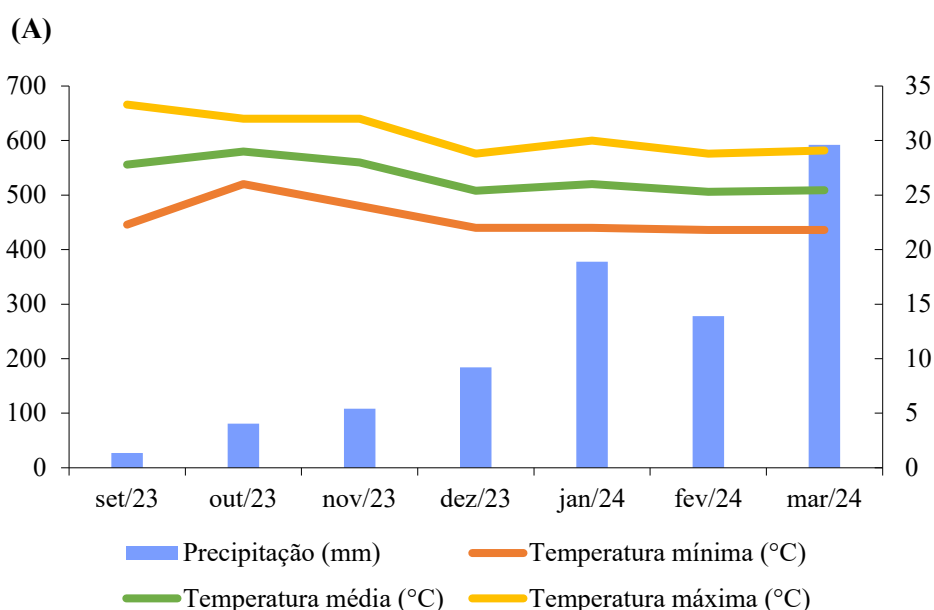
5.1 Instalação do experimento

A pesquisa foi desenvolvida em condições de campo, em áreas comerciais de cultivo de soja, localizadas no município de Lucas do Rio Verde, Mato Grosso, sob as coordenadas -13°02'11"S -55°56'34"W e -12°46'35.65"S -56°04'02.49"W, na safra 2023/2024. A primeira área experimental foi implantada na Estação de Pesquisa Kasuya (CPK) e a segunda área foi implantada na Fazenda Escola (FE) do Unilassale. Trata-se de áreas utilizadas para experimentação agrícola, com uso constante para plantio de grandes culturas, como soja e milho (*Zea mays* L.).

Os experimentos foram realizados em Latossolos Vermelhos Eutróficos, com saturação de bases superior a 70%, textura argilosa (acima de 45%) e altitude média de 350 metros.

As condições meteorológicas durante o período experimental no município de Lucas do Rio Verde /MT onde os experimentos foram conduzidos são apresentadas nas Figura 1A e 1B.

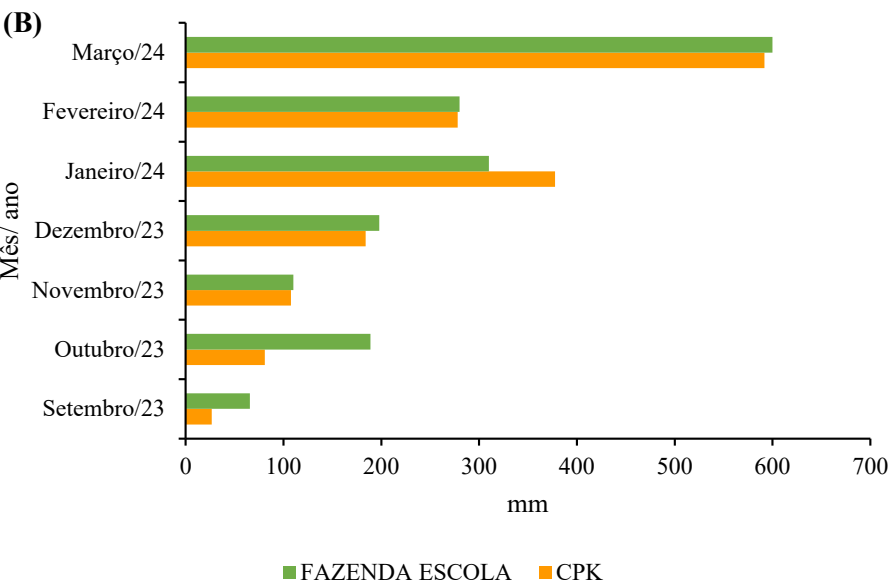
Figura 1A — Temperatura média, máxima e mínima no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde – MT.



Fonte: INMET.

Nota: Gráfico elaborado pelo autor.

Figura 1B — Precipitação média no período de setembro de 2023 a março de 2024 no município de Lucas do Rio Verde – MT.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor.
Nota Coleta manual (pluviômetro).

Tabela 1 — Resultados da análise química do solo da área da Fazenda Escola (FE) do Unilassale. Lucas do Rio Verde – MT, 2024.

Análise química do solo															
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	H ₂ O	mg/dm ⁻³	cmol/ dm ⁻³				cmol/ dm ⁻³	%	dag/ kg	mg/dm ⁻³					
0 a 20 cm	5,9	5,3	77	2,4	0,6	0,0	3,4	3,2	48	2,3	0,3	0,7	25	5,6	4,4
Análise física do solo															
Amostra	Argila			Silte			Areia total								
	g/ kg														
0 a 20 cm	482			88			430								

Fonte: Laboratório credenciado “Solo Certo”, Lucas do Rio Verde-MT, 2024.
 Legenda: P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; M.O: Matéria Orgânica; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; cm: centímetros.

Tabela 2 — Resultados da análise química do solo da Estação de Pesquisa Kasuya (CPK). Lucas do Rio Verde – MT, 2024.

Análise química do solo															
Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V	M.O	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	H ₂ O	mg/dm ⁻³ ₃	cmol/ dm ⁻³				cmol/ dm ⁻³ ₃	%	dag/ kg	mg/dm ⁻³					
0 a 20 cm	6,1	12	60	2,6	1,2	0,0	4,0	4,0	50	2,6	0,1	0,9	28	2,3	5,3
Análise física do solo															
Amostra	Argila			Silte			Areia total								
	g/ kg														
0 a 20 cm	525			163			312								

Fonte: Laboratório credenciado “Solos e Plantas”, Sorriso-MT, 2024.
 Legenda: P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca Catiônica; M.O: Matéria Orgânica; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; cm: centímetros.

5.2 Parcela, delineamento experimental, cultivar de soja e tratamentos químicos nas sementes

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), seguindo os princípios de casualização, repetição e homogeneidade. Para ambas as áreas, cada parcela experimental foi constituída por 5 linhas de cultura, com espaçamento entre linhas de 0,45 metros e 5 metros de comprimento. A área de cada parcela foi de 11,25 m². O experimento totalizou uma área de 225 m².

Nestes dois experimentos, utilizou-se a cultivar de soja NEO750 IPRO, conhecida por porte médio, ramificação baixa e hábito de crescimento indeterminado. Esta cultivar apresenta um peso médio de grãos (PMG) de 162g. Além disso, possui resistência ao cancro da haste, à pústula bacteriana e ao nematoide de cisto da raça 3, somada à moderada resistência a outras raças de nematoides e ao acamamento, tornando-se uma cultivar interessante para a região de Lucas do Rio Verde no estado de Mato Grosso.

A adubação de plantio foi realizada com a aplicação de 500 kg/ha de fertilizante formulado 00-18-18, visando fornecer 90 pontos de fósforo (P) e 90 pontos de potássio (K) por hectare. Para a implantação do ensaio, foram utilizados 2,5 kg de sementes por tratamento. As sementes de todos os tratamentos foram submetidas a um tratamento químico com o fungicida e inseticida, que apresenta

ação protetora (Piraclostrobina), sistêmica (Tiofanato Metílico), de contato e ingestão (Fipronil). O produto foi utilizado na proporção de 200 ml para cada 100 kg de sementes.

Além disso, o fungicida sistêmico e de contato, também foi utilizado em todos os tratamentos. A dosagem foi calculada de acordo com as recomendações da bula: 100 ml de produto comercial para cada 100 kg de sementes. Para a medição do produto químico utilizou-se uma seringa descartável que permitiu uma precisão de 0,2 ml na aplicação do produto.

5.3 Descrição dos tratamentos

Em todos os tratamentos, as sementes foram inoculadas com produto comercial à base de *Rizhobium*. Para calcular a quantidade requerida para a parcela, empregou-se a regra de três simples, resultando em uma dose de 17,5 ml de para cada 2,5 kg de sementes de soja. Para a mistura e transporte das sementes até o local de semeadura, utilizou-se um saco plástico.

Tendo sido efetuados as aplicações de fungicida e inseticida e a inoculação das sementes com *Rhizobium*, foram realizadas as outras aplicações de produtos nas sementes, para estabelecer os diferentes tratamentos, conforme descrito abaixo (Tabela 3):

Tabela 3 — Descrição dos tratamentos de sementes utilizados em ambos os experimentos.

Tratamentos	Descrição (Tratamento de Semente)
T1	Controle
T2	<i>A. brasilense</i>
T3	<i>B. aryabhattai</i>
T4	<i>A. brasilense</i> + <i>B. aryabhattai</i>

Fonte: O autor.

No tratamento T2 utilizou-se um produto comercial, um inoculante para milho, trigo e co-inoculação em soja, o qual contém *Azospirillum brasiliense* (cepas: Ab-V5 e Ab-V6), com garantia de 2×10^8 UFC/ml. A recomendação da empresa fabricante é a aplicação de 100 ml por hectare. Para o experimento, foi aplicada 1 dose de 100

ml para cada 50 kg de sementes de soja, calculada pela regra de três simples, resultando em 5 ml de produto para 2,5 kg de sementes de soja.

No tratamento T3 utilizou-se o produto comercial, contendo *Bacillus aryabhattai* (cepa: CMAA), com garantia de $1,0 \times 10^8$ UFC/ml. A aplicação foi realizada via tratamento de sementes, seguindo a recomendação do fabricante de 2 ml/kg de semente. Para cada parcela experimental, foram utilizados 5 ml a base de *Azospirillum brasiliense* para 2,5 kg de sementes de soja.

No tratamento T4 utilizou-se os produtos *Bacillus aryabhattai* (cepa: CMAA) + produto a base de *Azospirillum brasiliense*, nas doses já descritas.

A semeadura foi realizada com auxílio de uma plantadeira semeadeira de empurrar manual (Experimento 1/ área CPK), e semeadura com trator, semeadora automática (Experimento 2/ área FAZENDA ESCOLA) no dia 06 de novembro de 2023. Foram utilizadas 280.000 sementes de soja por hectare (10.000 m²), resultando em aproximadamente 12,6 sementes por metro.

5.4 Análises bioquímicas foliares

As amostras de folhas foram coletas aos 75 dias após a semeadura, estando as plantas em estágio reprodutivo (R1-R2). Foi realizada a secagem das folhas em estufa a 60°C, com obtenção de peso constante. As amostras foram encaminhadas para o Centro de Pesquisa em Ecofisiologia de Plantas do Oeste Paulista (CEVOP/ UNOESTE). As amostras foram submetidas à moagem, em moinho tipo *Wiley* com malha de 20 *mesh*. Para as análises das concentrações foliares de compostos fenóis totais e flavonoides totais, foi preparado um extrato onde as folhas secas e moídas foram pesadas (1g), adicionando-se 10 ml de etanol 80% e levando-se ao banho maria à 100°C por 3 horas, homogeneizando a cada 30 minutos. Após a extração, o material foi filtrado em papel filtro e armazenado em freezer (-4°C).

5.4.1 Compostos fenólicos totais

A concentração de polifenóis totais dos extratos foi analisada de acordo com o método de Folin-Ciocalteu (Stagos *et al.*, 2012). O procedimento foi realizado em tubos de ensaio com capacidade de 3,0 ml. Um volume de 25 µL de extrato

etanólico foliar foi misturado a 125 μL do reagente Folin-Ciocalteu e 1250 μL de água destilada. Os tubos homogeneizados ficaram em descanso por 3 min e em seguida adicionou-se 350 μL de solução de carbonato de sódio 25% (m/v) e 750 μL de água destilada. Os tubos de ensaio foram agitados e mantidos no escuro à temperatura ambiente por 1 hora. Decorrido o tempo, a absorbância foi determinada a 765 nm, utilizando espectrofotômetro.

O teor de polifenóis totais foi determinado por interpolação da absorbância das amostras com curva padrão de ácido gálico nas concentrações de 25 a 500 $\mu\text{g ml}^{-1}$ diluído em álcool etílico absoluto. As concentrações de polifenóis foram expressas em mg de equivalentes de ácido gálico por grama de massa seca foliar.

5.4.2 Flavonóides totais

O doseamento de flavonoides totais ($\mu\text{g ml}^{-1}$) foi realizado de acordo com Yao *et al.* (2013). Adicionado em tubo de ensaio uma alíquota de 100 μL de extrato etanólico foliar junto com 400 μL de álcool 70% e 50 μL de NaNO_2 5%. Após 6 minutos, foi acrescentado 50 μL da solução cloreto de alumínio (AlCl_3) 10%, 300 μL de NaOH (1M) e 100 μL de água destilada. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 510 nm e o branco utilizado irá conter todos os reagentes exceto a amostra. Para a elaboração da curva padrão analítica foi utilizado rutina diluída em álcool etílico absoluto nas concentrações de 25 a 500 $\mu\text{g ml}^{-1}$. As concentrações de flavonoides totais foram expressas em mg de equivalentes de rutina por grama de massa seca foliar.

5.4.3 Açúcares solúveis totais

O método para a determinação de açúcares solúveis totais (AST) foi baseado em Dubois *et al.* (1956). Para o preparo da amostra, 50 mg de folhas secas moídas foram misturadas em 2ml de etanol 80% e centrifugadas para a coleta do sobrenadante. Em seguida, o material foi ressuspenso em 1,5ml de etanol 80% e novamente centrifugado, por duas vezes, reunindo-se os sobrenadantes para compor a amostra. Na sequência, 0,5 ml da amostra foi adicionada a 0,5ml de solução de fenol a 5%, agitando-se os tubos de ensaio vigorosamente. A seguir

adicionou-se 2,5ml de ácido sulfúrico, agitando-se novamente e deixando-se os tubos esfriarem em temperatura ambiente antes da leitura em espectrofotômetro a 490 nm.

Os resultados foram obtidos através de curva padrão usando diferentes concentrações de glicose e os resultados foram expressos em mg de AST por g de massa seca foliar.

5.5 Variáveis biométricas e de produção

O número de plantas emergidas foi quantificado no período a partir dos 7 dias após a semeadura (DAS) e a última avaliação foi realizada aos 35 DAS. No período de condução dos ensaios em condições de campo, foram realizadas avaliações biométricas e de produção. Foram realizadas aferições de altura de plantas (ALP), com auxílio de régua graduada, do colo da planta até o último trifólio expandido.

As distâncias entre os nós, avaliações de altura de plantas, da quantidade de vagens e quantidade de grãos por vagem foram determinadas aos 90 DAS, por ocasião da colheita. A área Estação de Pesquisa Kasuya (CPK) foi colhida em 09 de fevereiro de 2024 e a área da Fazenda Escola (FE) foi colhida em 26 de fevereiro de 2024. Realizou-se a trilhagem das amostras de plantas em trilha mecanizada. Foram calculados o peso de mil grãos e a produtividade em kg ha⁻¹. Avaliou-se também a umidade dos grãos, para correção da mesma a 13%.

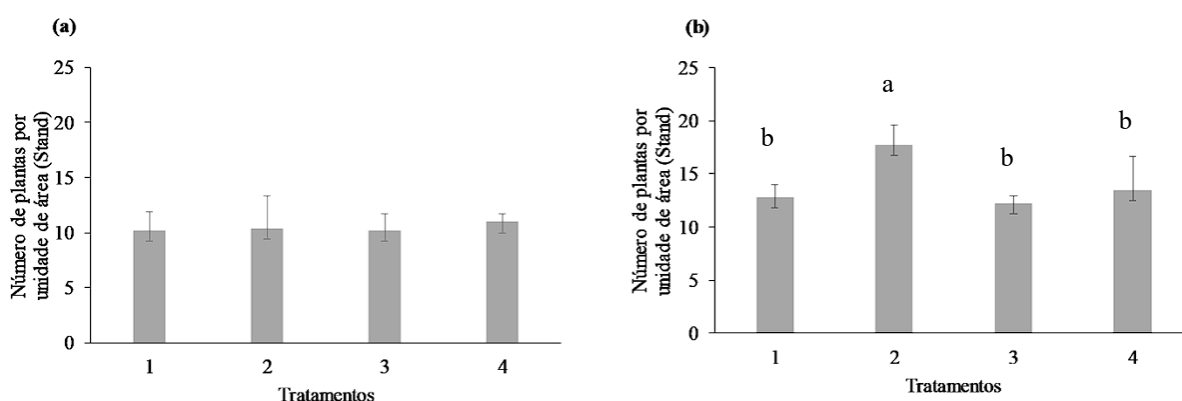
5.6 Análise estatística

Os dados foram verificados quanto à normalidade pelo teste Shapiro Wilk e homogeneidade de variância pelo teste de Bartlett, ambos ao nível de significância de 0,05. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo Teste F ($p \leq 0,05$). Quando houve significância, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no programa Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável de número de plantas por metro linear, não houve diferença estatística entre os tratamentos para o experimento realizado na área Fazenda Escola (Figura 2A). Houve uma tendência de aumento do número de plantas para o tratamento T4 (*A. brasiliense* + *B. aryabhattai*). Para o experimento conduzido na área CPK, houve maior número de plantas no tratamento T2 em relação ao tratamento controle e aos demais tratamentos (Figura 2B). Isso indica que o tratamento das sementes com *Azospirillum* contribuiu para a germinação e pegamento das plantas.

Figura 2 — Número de plantas de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B) em resposta a diferentes tratamentos de semente.



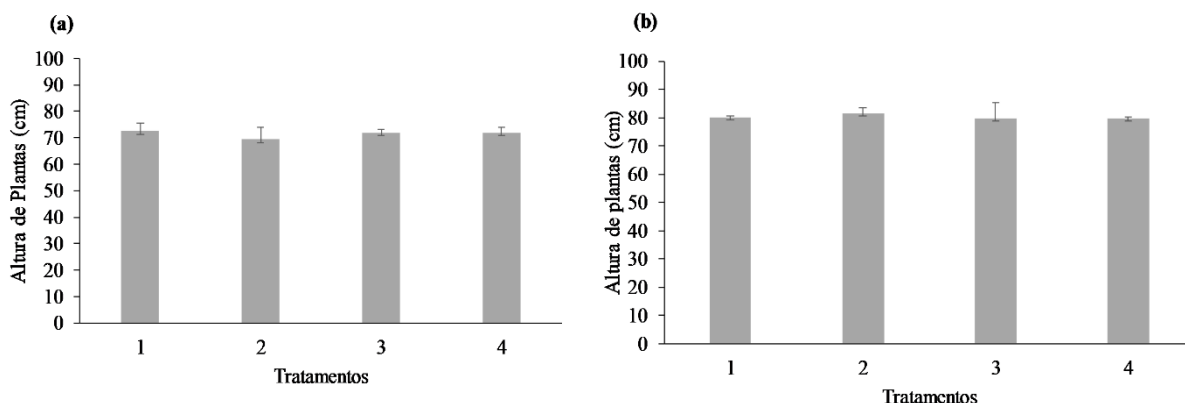
Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para a variável altura de plantas, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, tanto na área 1 quanto na área 2 (Figura 3A e 3B). Esse resultado sugere que os bioestimulantes aplicados, nas condições específicas deste experimento, não promoveram crescimento vertical expressivo das plantas avaliadas.

Figura 3 — Altura de plantas de soja aos 90 dias após a semeadura nos experimentos em resposta aos tratamentos de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).



Fonte: O autor.

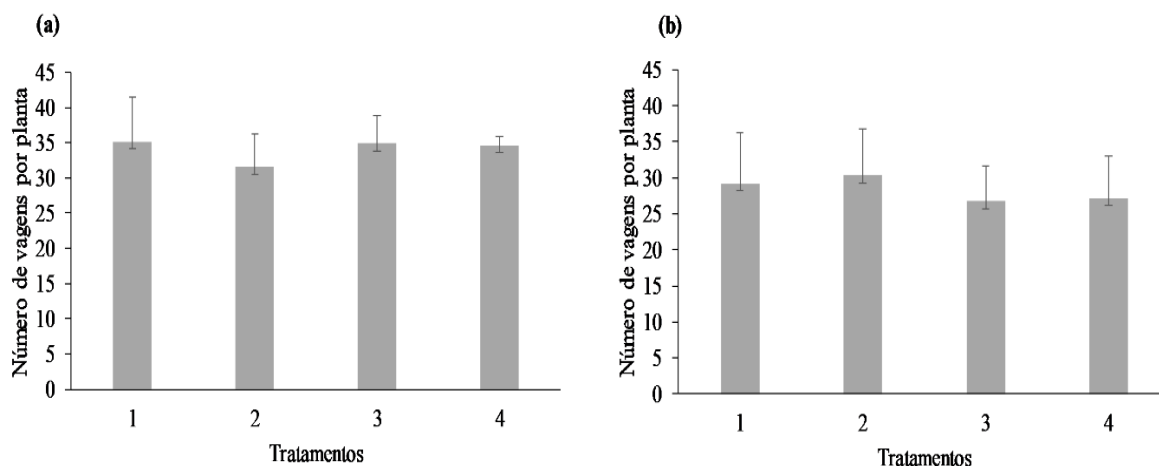
Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Esse comportamento é coerente com os achados de Tavanti *et al.* (2020), que, ao estudar a cultura da soja inoculada com *B. subtilis*, também não observaram variações na altura das plantas nem na massa seca da parte aérea. Tais resultados indicam que os efeitos de bioestimulantes e inoculantes podem ser altamente dependentes do tipo de planta, do composto utilizado e das condições edafoclimáticas.

Por outro lado, Mun *et al.* (2024) demonstraram que a inoculação com *B. aryabhattai* cepa SRB promoveu crescimento significativo em uma cultivar de arroz deficiente em giberelina, além de estimular o desenvolvimento de plantas de soja, que apresentaram maior número de ramos, maior formação radicular, teores mais elevados de clorofila e maior peso fresco e seco apenas 10 dias após a inoculação. Isso reforça que certas cepas e espécies bacterianas podem influenciar parâmetros fisiológicos e morfológicos distintos, muitas vezes sem refletir diretamente na altura da planta.

Para as variáveis número de vagens por planta (Figura 4), quantidade de grãos por planta (Figura 5A E 5B) e para peso de mil grãos (Figura 6) não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, quando comparados ao tratamento controle, para ambas as áreas experimentais.

Figura 4 — Número de vagens por planta de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).

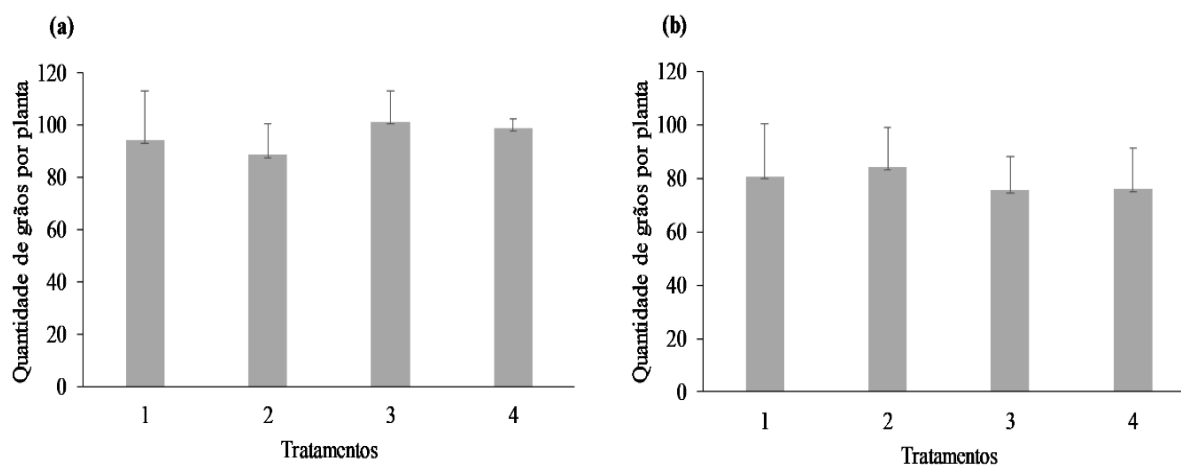


Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

É importante reconhecer que o padrão de grãos da cultura da soja é influenciado por diversas variáveis complexas e inter-relacionadas, que vão além dos tratamentos específicos aplicados.

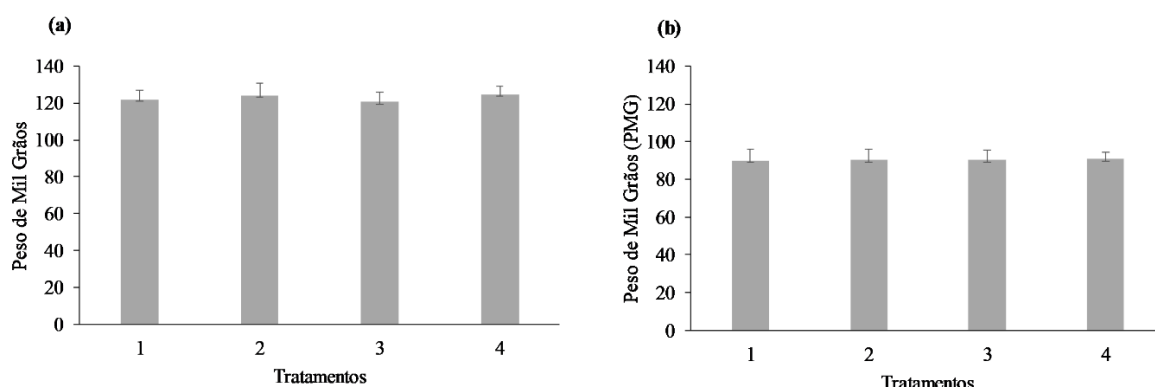
Figura 5 — Quantidade de grãos em plantas de soja em resposta ao tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).



Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Figura 6 — Peso de mil grãos (g) em plantas de soja em resposta a tratamentos da semente com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).

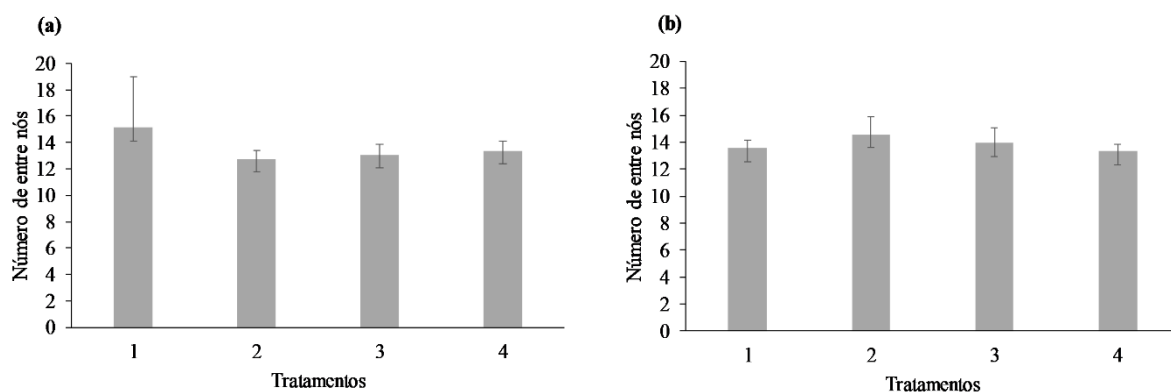


Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Para a variável número de entre nós das plantas de soja também não foram encontradas diferenças entre os tratamentos em relação ao tratamento controle, para ambas as áreas experimentais (Figura 7).

Figura 7 — Número de entre nós em plantas de soja em resposta a tratamentos de semente com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).



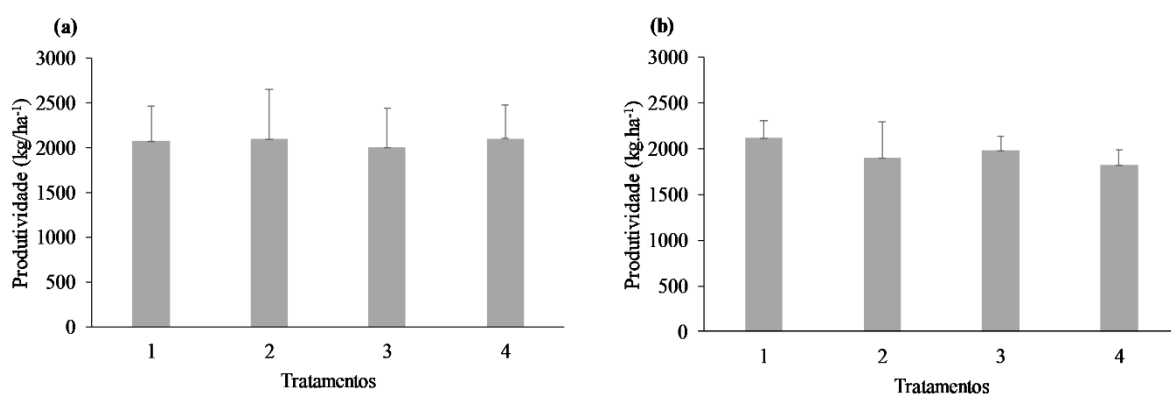
Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

A interação entre a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* e o rizobactéria *Azospirillum brasiliense* tem sido investigada em relação ao desempenho produtivo da soja (Prando *et al.*, 2020).

Neste estudo, em relação à variável de produtividade, expressa em sacas por hectare, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Figura 8). É importante ressaltar que os valores de produtividade obtidos são considerados adequados para a cultura da soja. Os tratamentos T2, T3 e T4, que incluem as aplicações de bioestimulantes em conjunto com o tratamento padrão (inoculação das sementes com *Rhizobium*), se assemelharam nos resultados de produção em relação ao T1 (controle).

Figura 8 — Produtividade em sacas por hectare na cultura da soja em função do tratamento de sementes com rizobactérias, nas áreas Fazenda Escola (A) e CPK (B).



Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Diversos estudos têm demonstrado o efeito positivo da inoculação com *Bacillus* spp. e *Azospirillum* spp. na produtividade da cultura de soja. Além do estudo de Ramesh *et al.* (2014), que evidenciou o aumento da disponibilidade de zinco e o crescimento da soja com *Bacillus aryabhattai*, outros trabalhos corroboram esses resultados. Tilak, Ranganayaki e Manoharachari (2006) revisaram a literatura sobre o uso de *Azospirillum* em diversas culturas, incluindo a soja, e constataram que a inoculação com essa bactéria pode aumentar o rendimento das colheitas em até 30%, dependendo das condições ambientais e da cepa utilizada. Hungria, Nogueira e Araújo (2013) demonstraram que a coinoculação de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum* em soja pode aumentar a fixação de nitrogênio e o rendimento de grãos, especialmente em solos com baixa fertilidade.

Fatores como a qualidade do solo, incluindo a disponibilidade de nutrientes e a quantidade de matéria orgânica, bem como o cultivar utilizado, são destacados como influentes na obtenção de aumento de produção em resposta à aplicação de bioestimulantes microbianos. Além disso, a temperatura e umidade do ar e do solo também exercem influência direta sobre a eficácia dos bioestimulantes microbianos (Ahmad *et al.*, 2019). Em condições de experimentos a campo, bactérias promotoras de crescimento de plantas são expostas a uma ampla gama de estresses ambientais, o que implica em estabelecer os critérios de uso dos produtos à base de microrganismos e da cepa utilizada para atender ao objetivo de aumento de produção (Mun *et al.*, 2024).

Outro fator preponderante para a obtenção de respostas positivas da cultura é a dose do bioestimulante microbiano. A dose ótima a ser recomendada para a inoculação de rizobactérias via tratamento de sementes deve ser investigada. Em experimento com milho, foram testadas diferentes doses no tratamento de sementes com *B. aryabhattai* (cepa CMAA 1363 na concentração de 1×10^9 UFC por ml). A dose ótima para a promoção do crescimento inicial das plântulas e produção de matéria seca ficou entre 20 - 22 ml de produto por kg de semente (Steiner *et al.*, 2024).

Os valores de carboidratos solúveis totais não foram alterados em resposta aos tratamentos de semente, para o experimento realizado na área CPK (Tabela 4). Os compostos fenólicos apresentaram uma variação entre 2.41 mg/g (T3) e 3.38 mg/g (T4). Observa-se que as plantas dos tratamentos T3 (*B. aryabhattai*) e T4 (*B. aryabhattai* + *A. brasilense*) apresentaram maior concentração de compostos fenólicos totais em relação às plantas do tratamento controle. Já o tratamento T2 não se diferenciou do tratamento controle. O coeficiente de variação foi relativamente baixo (4.97%), indicando boa consistência nos resultados obtidos. Para os flavonoides, não houve diferença significativa entre os tratamentos quando comparados com o tratamento controle (Tabela 4). Apenas verifica-se que as plantas do T2 apresentaram maior concentração de flavonoides totais em relação às plantas do T4.

Tabela 4 — Concentração foliar de açúcares solúveis totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais em plantas de soja, em resposta aos tratamentos de semente, na área CPK.

Tratamentos	Carboidratos		Compostos fenólicos	Flavonoides	
			(mg g ⁻¹ de MS)		
1	127,03	a	2,74	c	117,00 ab
2	124,00	a	2,73	c	118,50 a
3	113,00	a	2,41	b	112,24 ab
4	114,45	a	3,38	a	104,42 b
Coeficiente de Variação (%)	10.34		4,97		6.65

Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = Controle, T2 = *Azospirillum brasiliense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasiliense* + *Bacillus aryabhattai*).

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Essa diferença na concentração foliar de compostos fenólicos em resposta à aplicação de *B. aryabhattai* (T3) e *B. aryabhattai* + *A. brasiliense* (T4) via tratamento de sementes é interessante do ponto de vista bioquímico das plantas, desde que estes compostos atuam como antioxidantes não enzimáticos que promovem a supressão de espécies reativas de oxigênio em plantas sob estresses abióticos (Soares *et al.*, 2022), o que resulta em proteção celular e aumento da tolerância ao estresse.

Mesmo durante os meses mais secos (setembro a novembro) (Figura 1B), pode indicar que o estresse hídrico não foi suficientemente severo na área experimental CPK para demandar uma mobilização significativa dessas reservas energéticas. As plantas podem ter conseguido manter seu metabolismo basal sem grandes alterações nesse aspecto. A disponibilidade de água nos meses seguintes também pode ter contribuído para a estabilidade dos níveis de carboidratos independente do tratamento.

O aumento nos compostos fenólicos nos tratamentos com *B. aryabhattai* (T3) e *B. aryabhattai* + *A. brasiliense* (T4) pode estar relacionado com os períodos de menor disponibilidade hídrica no início do experimento (setembro a novembro). O estresse pode ter sido suficiente para desencadear mecanismos de defesa nas plantas.

A maior concentração observada com a aplicação de *B. aryabhattai* e a combinação com *A. brasiliense* sugere que essas bactérias podem ter auxiliado as plantas a mitigar os efeitos desse leve estresse hídrico inicial, induzindo a produção

desses compostos protetores. A recuperação da umidade do solo nos meses subsequentes (dezembro em diante) pode ter permitido que as plantas mantivessem esses níveis elevados de compostos fenólicos.

Para o segundo experimento, realizado na área da Fazenda Escola, os valores de carboidratos totais variaram entre 69.09 mg/g (T1) e 72.95 mg/g (T3). No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5).

Os compostos fenólicos totais apresentaram valores entre 3.14 mg/g (T1) e 3.72 mg/g (T4). Apesar das diferenças numéricas, os valores não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. O coeficiente de variação de 9.79% indica uma variabilidade moderada nos dados. Para os flavonoides, os valores variaram de 135.42 mg/g (T3) a 156.25 mg/g (T2). Assim como nos outros parâmetros, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Apenas é possível notar uma tendência de aumento para as plantas do tratamento T2 (Tabela 5):

Tabela 5 — Concentração foliar de açúcares solúveis totais, compostos fenólicos totais e flavonoides totais em plantas de soja, em resposta aos tratamentos de semente, na área Fazenda Escola.

Tratamentos	Carboidratos	Compostos fenólicos	Flavonoides
		(mg g ⁻¹ de MS)	
1	69.09 a	3.14 a	149.12 a
2	70.25 a	3.29 a	156.25 a
3	72.95 a	3.54 a	135.42 a
4	72.48 a	3.72 a	147.82 a
Coeficiente de Variação (%)	13,67	9,79	9,24

Fonte: O autor.

Legenda: (T1 = testemunha, T2 = *Azospirillum brasilense*, T3 = *Bacillus aryabhattai* e T4 = *Azospirillum brasilense* + *Bacillus aryabhattai*).

Nota: Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A co-inoculação de *B. amyloliquefaciens* e fungo micorrízico arbuscular em plantas de soja resultou na maior biomassa vegetal e rendimento tanto sob condições normais de irrigação como sob condição de seca. Houve aumento no conteúdo de metabólitos primários e menor redução induzida pela seca nos teores de açúcares solúveis, lipídios e proteínas. Plantas inoculadas com *B. amyloliquefaciens* apresentaram as maiores atividades das enzimas α -amilase e β -amilase, indicando síntese melhorada de osmólitos (açúcares solúveis), particularmente sob seca. A co-inoculação destes microrganismos resultou em efeito

positivo nos níveis de antioxidantes e osmoprotetores, ou seja, fenóis, flavonoides, glicina betaína e atividade da enzima glutathione-S-transferase (GST). Tais alterações metabólicas levaram a um aumento da produção de sementes e da qualidade das sementes em plantas sob condição de seca (Sheteiwy *et al.*, 2021).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a exceção dos compostos fenólicos, a ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos sugere que, sob as condições avaliadas, os microrganismos aplicados via tratamento de sementes não alteraram significativamente os parâmetros de crescimento e produção da soja.

Sugere-se que as doses aplicadas de *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense*, segundo a recomendação da empresa fabricante dos produtos, podem não ter sido suficientes para provocar alterações no metabolismo da soja que se refletissem em aumento de produção. É possível inferir que doses maiores desses microrganismos possam induzir respostas mais efetivas. Além disso, o tratamento de sementes pode não ser a abordagem mais eficaz para assegurar uma boa interação entre os microrganismos e as raízes. Aplicações diretas no solo possibilitam que os microrganismos se estabeleçam melhor na rizosfera, com maior chance de ocorrer interação com a raiz, resultando em efeitos mais expressivos no metabolismo da planta.

A ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos pode ser atribuída a diversos fatores, tais como as cepas de cada microrganismo que foram utilizadas, as condições climáticas durante o experimento e a complexidade das interações entre os microrganismos, os nutrientes, solo e a planta. É sabido que fatores ambientais como temperatura, umidade e composição química do solo podem influenciar negativamente a viabilidade ou a atividade dos microrganismos aplicados, dificultando sua colonização nas raízes e, consequentemente, sua capacidade de alterar o metabolismo da planta.

Além disso, a interação entre os microrganismos e a planta pode não ter sido suficientemente sinérgica. A compatibilidade genética entre o cultivar de soja utilizado e os microrganismos aplicados garante a resposta metabólica da planta. A frequência de aplicação também pode ser um fator determinante para a obtenção de repostas positivas, sendo que aplicações adicionais via pulverização foliar podem resultar em maior resposta.

Considerando que o tratamento de sementes não se mostrou efetivo, sugere-se que estudos futuros investiguem a aplicação isolada ou combinada das rizobactérias *B. aryabhattai* e *A. brasilense* na cultura da soja explorando fatores

como o aumento da dose dos produtos e/ou da frequência de aplicação, em diferentes cultivares, com avaliação dos parâmetros fisiológicos, de crescimento e de produção. Adicionalmente, propõe-se a aplicação no sulco de semeadura como alternativa ao tratamento de sementes.

9 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que a aplicação de bioestimulantes à base de *B. aryabhatai* e *A. brasilense*, de forma isolada ou conjunta, via tratamento de sementes, não apresentou diferenças no crescimento das plantas e nos parâmetros de produção da soja. As análises bioquímicas foliares, no entanto, revelaram alterações nos teores de compostos fenólicos totais, sugerindo que os microrganismos utilizados promovem maior síntese destes antioxidantes não enzimáticos em plantas de soja.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M.; ADIL, Z.; HUSSAIN, A.; MUMTAZ, M. Z.; NAFEES, M.; AHMAD, I.; JAMIL, M. Potential of phosphate solubilizing *Bacillus* strains for improving growth and nutrient uptake in mungbean and maize crops. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 56, n. 2, p. 283-289, 2019. DOI: 10.21162/PAKJAS/19.7285.
- ARORA, N.; JOHRI, B.M. Plant growth-promoting rhizobacteria: a review of mechanisms and applications. **Applied Soil Ecology**, v. 162, p. 103895, 2022.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 2, p.163-190, 2013. DOI: 10.1007/s11099-013-0021-6.
- BROWN, P.; SAA, S. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 671, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.00671.
- BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G. E. G.; SUZUKAWA, A. K.; LIMA, L. H. S.; PICCININ, G. G. Co-inoculação e modos de aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação de plantas e rendimento da cultura da soja. **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, v.15, n.1, 2016. DOI: 10.18188/sap.v15i1.10565.
- CEREZINI, P. **Efeito da restrição hídrica na fixação biológica de nitrogênio em soja**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, Londrina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/handle/123456789/14045>. Acesso em: 14 maio 2023.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956. DOI: 10.1021/ac60111a017.
- FAO. **FAOSTAT**: Crop Production. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 14 maio 2023.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015. DOI: 10.31413/nativa.v3i1.1855.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.
- FIGUEIRA, C.; FERREIRA, M.J.; SILVA, H.; CUNHA, H. Melhoria da eficiência germinativa de sementes de *Salicornia ramisissima* inoculadas com *Bacillus*

aryabhatai SP1016-20. **Annals of Applied Biology**, v. 174, n. 3, p. 319-328, 2019. DOI: 10.1111/aab.12495.

FIBACH-PALDI, S.; BURDMAN, S.; OKON, Y. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*, **FEMS Microbiology Letters**, v. 326, n. 2, p. 99-108, 2012. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **Amb Express**, v. 8, n. 1, p. 73, 2018. DOI: 10.1186/s13568-018-0608-1.

GRIS, E. P.; CASTRO, A. M. C.; OLIVEIRA, F. F. Produtividade da soja em resposta à aplicação de molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 151-155, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000100017.

HUNGRIA, S.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybean and common bean with rhizobia and azospirilla: strategies for improving biological nitrogen fixation. **Plant and Soil**, v. 361, n.1-2, p. 41-55, 2013.

JOHNSON, L.A.; WHITE, P.J.; GALLOWAY, R. (ed.). **Soybeans**: chemistry, production, processing, and utilization. 2. ed. Urbana, IL: AOCS Press : Elsevier, 2015. 1024 p.

KAVAMURA, V. N. **Bactérias associadas às cactáceas da Caatinga**: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico. 2012. 244 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. DOI: 10.11606/T.11.2012.tde-25102012-095956.

KUMAR, S.; KUMAR, R. Biostimulants: a promising approach for sustainable agriculture. **International Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 3, p. 226-236, 2022.

LANDAU, E. C.; MOURA, L.; SILVA, G. A.; PASSOS, A. M. A. Evolução da produção de soja (*Glycine max*, Fabaceae). In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A.; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: produtos de origem vegetal. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 2, cap. 37, p. 1215-1239.

LOVATTO, P. B. **Fitoprotetores botânicos**: união de saberes e tecnologias para transição agroecológica. 1. ed. Curitiba: Appris, 2020.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006. DOI: 10.1016/j.tplants.2005.11.002.

MUN, B.; HUSSAIN, A.; PARK, Y.; KANG, S.; LEE, I.; YUN, B. The PGPR *Bacillus aryabhatai* promotes soybean growth via nutrient and chlorophyll maintenance and

the production of butanoic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1341993.

NABI, R. B. S.; SHAHZAD, R.; TAYADE, R.; SHAHID, A. H.; ALI, M. W.; YUN, B. W. Evaluation of the potential of PGPR to protect tomato against Fusarium wilt and promote plant growth. **PeerJ**, v. 9, e11083, 2021. DOI: 10.7717/peerj.11194.

NAOE, A. M. L.; PELUZIO, J. M.; CAMPOS, L. J. M.; NAOE, L. K.; SILVA, R. A. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars subjected to water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p89-94.

OLIVEIRA, R. S. Expansão da área cultivada com soja no Brasil e seus impactos na produtividade. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 73, n. 2, p.123-145. 2022.

PARK, Y. G.; MUN, B. G.; KANG, S. M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R. SEO, C. W.; KIM A.Y.; LEE, S.U.; OH, K.Y.; LEE, D.Y.; LEE, I.J.; YUN, B.W. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **Plos One**, v. 12, p.1-28, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0173203.

PRANDO, A. M.; OLIVEIRA, A. B.; LIMA, D.; POSSAMAI, E. J.; REIS, E. A.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M.; CONTE, O. **Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2019/2020 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 21 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 166).

PURCELL, L. C.; SPECHT, J. E. Physiological traits for ameliorating drought stress. In: SHIBLES, R. M.; HARPER, J. E.; WILSON, R. F.; SHOEMAKER, R. C. (ed.). **Soybeans: improvement, production, and uses**. 3rd ed. Madison: American Society of Agronomy, 2004. cap. 12, p. 569–620. (Agronomy Monograph, 16). DOI: 10.2134/agronmonogr16.3ed.c12.

RAHIMI, M.; BARGHI, H.; JAVANMARD, A.; NEZAMI, A. Soybean yield and yield components response to drought stress and foliar application of zinc and potassium. **Agronomy**, v.12, n. 10, p.2402, 2022.

RAMESH, A.; SHARMA, S. K.; SHARMA, M. P.; YADAV, N.; JOSHI, O. P. Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabhattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. **Applied Soil Ecology**, v. 73, p. 87-96, 2014. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.08.009

SANTOS, S. L. **Associação de inoculantes bacterianos e micorrízico na soja orgânica e convencional**. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5015>. Acesso em: 15 maio 2023.

SANTOS, V.M.; DE MELO, A. V.; CARDOSO, D. P.; GONÇALVES, A. H.; VARANDA, M. A. F.; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de

plantas de Zea mays L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.

SCHNEPF, R. D.; DOHLMAN, E. N.; BOLLING, H. C. **Agriculture in Brazil and Argentina**: developments and prospects for major field crops. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2001. (Agriculture and Trade Report, WRS-01-3). Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=40353>. Acesso em: 15 maio 2023.

SHIVAJI, S.; CHATURVEDI, P.; BEGUM, Z.; PINDI, P.K. *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhatai* sp. nov., isolated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 59, n. 12, p. 2977-2986, 2009. DOI: 10.1099/ijs.0.002527-0.

SOUZA, K. S. **Coinoculação de microrganismos associada a doses de silício na nutrição, componentes produtivos e produtividade da soja**. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024.

STAGOS, D.; KAZANTZOGLOU, A.; MAGIATIS, E.; MITROPOULOU, M.; SKALTSOUNIS, A.; HAROUTOUNIAN, P.; STATHOPOULOS, C. Correlation of total polyphenolic content with antioxidant and antibacterial activity of 24 extracts from Greek domestic Lamiaceae species. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 11, p. 4115-4124, 2012. DOI: 10.1016/j.fct.2012.08.033.

STEINER, F.; LOPES, L. E.; VILA-BOAS, J. K.; FERREIRA, I. B. P.; AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. *Bacillus aryabhatai* dose recommendation for corn seed inoculation. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, v. 2, p. 45-52, 2024. DOI: 10.46420/TAES.e240003.

SHETEIWY, M.; ABDELGAWAD, H.; XIONG, Y.; MACOVEI, A.; BRESTIČ, M.; SKALICKÝ, M.; SHAGHALEH, H.; HAMOUD, Y. EL-SAWAH, A. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 4, p. 2153-2169, 2021. DOI: 10.1111/ppl.13454.

SILVA, J. Os desafios da olericultura: uso de fertilizantes e nutrição de plantas. **Hortaliças em Revista**, ano 1, n. 5, p. 12, 2012. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/941190>. Acesso em: 31 maio 2023.

TILAK, K. V. B. R.; RANGANAYAKI, N.; MANOHARACHARI, C. Synergistic effects of plant-growth promoting rhizobacteria and *Rhizobium* on nodulation and nitrogen fixation by pigeonpea (*Cajanus cajan*). **European Journal of Soil Science**, v. 57, n. 1, p. 67–71, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2005.00771.x.

TAVANTI, T. R.; TAVANTI, R. F. R.; GALINDO, F. S.; SIMÕES, I.; DAMETO, L. S.; SÁ, M. E. Produtividade e qualidade de sementes de soja inoculadas com estirpes

de *Bacillus subtilis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 65–71, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p65-71.

VAN OOSTEN, M. J.; PEPE, O.; PASCALE, S.; SILLETTI, S.; MAGGIO, A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, p. 5, 2017. DOI: 10.1186/s40538-017-0089-5.

VENDRUSCOLO, E. P.; CERETTA, C. A.; BERTICELLI, G. V.; DEBONA, D. T.; BARROS, F. V.; CASSOL, A.; KOVALESKI, A. P. Alterações físico-químicas em frutos de melão rendilhado sob aplicação de bioestimulante. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 2, p. 459–463, 2017. DOI: 10.17584/rcch.2017v11i2.7413.

YAO, X., ZHU, L., CHEN, Y., TIAN, J., WANG, Y. In vivo and in vitro antioxidant activity and α -glucosidase, α -amylase inhibitory effects of flavonoids from *Cichorium glandulosum* seeds. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1-4, p. 59-66, 2013. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.12.045.

YADAV, R.; SINGH, K. K.; SINGH, B. P. Role of *Bacillus aryabhattai* in improving crop productivity and quality. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 1, p. 1-17, 2022.

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2049, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2016.02049.

ZHAO, J.; LIU, D.; WANG, Y.; ZHU, X.; CHEN, L.; DUAN, Y. Evaluation of *Bacillus aryabhattai* Sneb517 for control of *Heterodera glycines* in soybean. **Biological Control**, v. 142, p. 104170, 2020. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104147.