

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

VITÓRIA MARIA DE SOUZA

**Efeito da inoculação de isolados de *Bacillus*, *Klebsiella* e *Pseudomonas* no
desenvolvimento e rendimento do feijoeiro-comum**

Jaboticabal – SP
2º Semestre/2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Efeito da inoculação de isolados de *Bacillus*, *Klebsiella* e *Pseudomonas* no desenvolvimento e rendimento do feijoeiro-comum

VITÓRIA MARIA DE SOUZA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliana Gertrudes Macedo Lemos.

Coorientadores: Me. Heytor L. Martins, Me. Luis A. C. Rojas e Dra. Natália S. M. Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Jaboticabal – SP

2^o Semestre/2024

S729e Souza, Vitória Maria
Efeito da inoculação de isolados de Bacillus, Klebsiella e Pseudomonas no desenvolvimento e rendimento do feijoeiro-comum / Vitória Maria Souza. -- Jaboticabal, 2024
41 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Eliana Gertrudes Macedo Lemos
Coorientador: Heytor Lemos Martins

1. Bactérias. 2. Leguminosa Inoculação. 3. Solos. I. Título.

NOME COMPLETO DO AUTOR

Vitória Maria de Souza

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO:

Efeito da inoculação de *Bacillus sp.*, *Klebsiella sp.* e *Pseudomonas sp.* no desenvolvimento e rendimento do feijoeiro-comum.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de Concentração: Microbiologia Agrícola

Orientador(a): Profª. Dra. Eliana Gertrudes Macedo Lemos

Coorientador(es): Me. Heytor L. Martins, Me. Luis A. C. Rojas e Dra. Natália S. M. Lima.

Data da defesa: 04/12/2024

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



HEYTOR LEMOS MARTINS
Data: 04/12/2024 15:19:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Heytor Lemos Martins

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente



PEDRO LUIS DA COSTA AGUIAR ALVES
Data: 04/12/2024 17:09:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente



ANE GABRIELE VAZ SOUZA
Data: 04/12/2024 16:31:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Ane Gabriele Vaz Souza

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: ____/____/____

Documento assinado digitalmente



JAIRO OSVALDO CAZETTA
Data: 06/12/2024 11:22:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta
Chefe do Departamento

Dedico esse trabalho ao meu amado irmão, James Fernando (in memoriam), que nos deixou há pouco tempo, mas se faz presente no meu coração todos os dias. Embora tenha passado por grandes desafios, nunca deixou de sonhar e ter fé em dias melhores. Espero que este trabalho seja um reflexo da determinação que você sempre me ensinou. Sinto sua presença em cada passo que dou, e dedico este esforço ao seu legado eterno.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. OBJETIVOS	9
1.1.1. Objetivo Geral	9
1.1.2. Objetivos Específicos	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. Feijão: Característica	10
2.1.1. Fenologia / Hábitos de crescimento	10
2.1.2. Relevância Socioeconômica no Brasil e no mundo	12
2.1.3. Desafios na produção do feijão	13
2.2.1. Bactérias promotoras do crescimento vegetal	14
2.2.2. Gênero <i>Pseudomonas</i>	15
2.2.3. Gênero <i>Bacillus</i>	16
2.2.3. Gênero <i>Klebsiella</i>	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Testes <i>in vitro</i>	18
3.2. Teste <i>in vivo</i>	20
3.2.1. Condições do estudo e delineamento experimental	20
3.2.2. Preparo dos vasos e meio inóculos das sementes	21
3.2.3. Avaliações do feijoeiro	22
4. RESULTADOS	22
4.1. Testes <i>in vitro</i>	22
4.2. Teste <i>in vivo</i>	27
5. DISCUSSÃO	36
6. CONCLUSÕES	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) é uma das leguminosas mais consumidas no mundo e desempenha um papel fundamental na alimentação de diversos países. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de feijão; na safra 2023/2024 a área de produção dessa leguminosa foi de 2.856,3 mil ha, com uma produção de 3.249,3 mil t, tendo uma média de produtividade de 1.138 kg ha⁻¹ ou de 18,97 sc ha⁻¹. No entanto, o feijoeiro é uma cultura exigente do ponto de vista nutricional, devido ao seu sistema radicular pouco profundo e ciclo de vida relativamente curto, variando entre 90 a 100 dias. Para atender as demandas nutricionais da cultura, um dos métodos amplamente utilizados para o aumento da produtividade no Brasil é o uso intensivo de fertilizantes químicos. Contudo, esta prática acarreta sérios impactos ambientais, como a contaminação de recursos hídricos, além de apresentar riscos à saúde humana. O uso de insumos à base de microrganismos é considerado uma alternativa econômica e ambientalmente sustentável em comparação aos métodos convencionais de fertilização. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a produtividade da cultivar de feijão BRS-FC104 em resposta à inoculação com isolados bacterianos do gênero *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Klebsiella*. Os parâmetros analisados incluíram germinação, índice de velocidade de germinação, número de folhas, massa fresca, massa seca, clorofila e produtividade. A inoculação de isolados de *Pseudomonas* nas sementes promoveu melhorias significativas tanto na porcentagem de germinação quanto no aumento do índice de velocidade de germinação. Além disso, a cepa de *Pseudomonas* sp. e o consórcio entre *Pseudomonas* e *Klebsiella* resultaram em incrementos significativos na massa fresca e seca total das plantas submetidas a esses tratamentos. Enquanto, as plantas submetidas à inoculação com *Klebsiella* demonstraram os menores índices de massa analisados, quando comparado aos tratamentos de controle.

Palavras chave: Bactérias, Promoção de Crescimento, Produtividade.

ABSTRACT

Common beans (*Phaseolus vulgaris*) are one of the most widely consumed legumes in the world and play a fundamental role in the diet of several countries. Brazil is the world's second largest bean producer. In the 2023/2024 harvest, the bean production area was 2,856.3 thousand ha, with a production of 3,249.3 thousand t, with an average productivity of 1,138 kg ha⁻¹ or 18.97 sc ha⁻¹. However, beans are a demanding crop from a nutritional point of view, due to their shallow root system and relatively short cycle, ranging from 90 to 100 days. To meet nutritional demands, one of the methods widely used to increase productivity in Brazil is the intensive use of chemical fertilizers. However, this practice has serious environmental impacts, such as contamination of water resources, in addition to posing risks to human health. The use of microorganism-based inputs is considered an economically and environmentally sustainable alternative compared to conventional fertilization methods. Therefore, the present study aims to analyze the productivity of the common bean cultivar BRS-FC104 in response to inoculation with bacterial isolates of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Klebsiella*. The parameters analyzed included germination, germination speed index, plant height, number of leaves, single mass, dry mass, chlorophyll, and productivity. The inoculation of *Pseudomonas* isolates in the seeds promoted significant improvements in both the germination percentage and the increase in the germination speed index. Furthermore, the *Pseudomonas* sp. strain and the consortium between *Pseudomonas* and *Klebsiella* resulted in significant increases in the total wet and dry mass of the plants subjected to these treatments. Meanwhile, the plants subjected to inoculation with *Klebsiella* demonstrated the lowest mass indexes analyzed, when compared to the control treatments.

Keywords: Bacteria, Growth Promotion, Productivity.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) é uma das leguminosas mais consumidas no mundo e desempenha um papel fundamental na alimentação de diversos países (Coelho *et al.*, 2021). No cenário brasileiro, está presente na dieta da população, fornecendo quantidades significativas de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais (Ronko *et al.*, 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão; na safra 2023/2024 a área de produção do feijão foi de 2.856,3 mil ha, com uma produção de 3.249,3 mil t, tendo uma média de produtividade de 1.138 kg ha⁻¹ ou de 18,97 sc ha⁻¹ (CONAB, 2024; Coêlho, 2021).

O feijoeiro é uma cultura particularmente exigente do ponto de vista nutricional, devido ao seu sistema radicular pouco profundo e ciclo de vida relativamente curto, variando entre 90 a 100 dias (Vieira *et al.*, 2015). Para atender as demandas nutricionais da cultura, um dos métodos amplamente utilizados para o aumento da produtividade no Brasil é o uso intensivo de fertilizantes químicos. Contudo, esta prática acarreta sérios impactos ambientais, como a contaminação de recursos hídricos, além de apresentar riscos à saúde humana (Cerqueira *et al.*, 2015).

Conforme observado por Karavidas *et al.* (2022), fatores como mudanças climáticas, poluição ambiental e alterações nas características do solo têm contribuído negativamente na produtividade e qualidade das lavouras em todo o mundo. Paralelamente, o uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido uma prática comum no controle de pragas em diversas culturas agrícolas no Brasil e em várias regiões do mundo. O uso inadequado dos defensivos agrícolas não resulta somente em impactos ambientais negativos, mas também compromete a segurança dos alimentos produzidos, afetando diretamente o consumidor final (Paiva *et al.*, 2024).

Esses fatores contribuem para uma crescente insegurança socioeconômica e alimentar, à medida que a capacidade de produzir alimentos de qualidade é prejudicada. Dado que a população global está estimada em 10,4 bilhões até 2067, medidas para aumentar a produção agrícola de forma sustentável precisam ser adotadas rapidamente (Karavidas *et al.*, 2022). Assim, a busca por métodos alternativos na agricultura, como a utilização de agentes biológicos, tem ganhado destaque nas últimas décadas, tendo várias aplicações, como supressão de doenças, produção ou alteração da concentração de fitohormônios, incluindo auxinas, citocininas e giberelinas, fixação de nitrogênio atmosférico, solubilização de fosfatos minerais ou outros nutrientes do solo, aumento da permeabilidade das raízes e produção de sideróforos (Cerqueira *et al.*, 2015; Taiz; Zeiger, 2017).

O uso de insumos à base de microrganismos é considerado uma alternativa econômica e ambientalmente sustentável em comparação aos métodos convencionais de fertilização (Paiva *et al.*, 2018). A inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal tem mostrado resultados promissores na produtividade do feijoeiro, o qual pode superar 4 mil kg ha⁻¹ (Coelho *et al.* 2021). Bactérias que residem na rizosfera e promovem o crescimento das plantas são conhecidas como rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPR) (Elnahal *et al.*, 2022). Essas bactérias têm a capacidade de induzir o crescimento vegetal direta ou indiretamente, ao reduzir os impactos causados por uma variedade de patógenos (Anand, *et al.*, 2023). Visando mitigar os danos decorrentes do uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes químicos, a associação mutualística entre o hospedeiro e o microrganismo tem se mostrado uma alternativa eficaz e sustentável para melhorar o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Anand *et al.*, 2023; Cerqueira *et al.*, 2015; Elnahal *et al.*, 2022).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente estudo tem como finalidade analisar a produtividade da cultivar de feijão *Phaseolus vulgaris* BRS-FC104 em resposta à inoculação com isolados gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Klebsiella*.

1.1.2. Objetivos Específicos

Determinar a compatibilidade dos isolados bacterianos de *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Klebsiella* em condições *in vitro*.

Avaliar o efeito da inoculação dos isolados bacterianos na germinação e desenvolvimento do feijão.

Investigar o potencial dos isolados bacterianos como bioinoculantes para a melhoria da produtividade do feijão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Feijão: Características

O feijão, originário do Novo Mundo, é atualmente cultivado em todos os continentes. Dentre as culturas de grãos, é a que apresenta maior variabilidade em termos de cor, tamanho e forma das sementes. O gênero *Phaseolus* inclui entre 31 e 52 espécies, todas nativas das Américas, mas apenas cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L. (feijão-comum), *P. lunatus* L. (feijão-de-lima), *P. coccineus* L. (feijão-de-lima-trepador), *P. acutifolius* A. Gray (feijão-tepari) e *P. polyanthus* Greeman (feijão-azteca) (Carneiro *et al.*, 2005).

A espécie *Phaseolus vulgaris* L., popularmente conhecida como feijão-comum, destaca-se pela sua versatilidade, podendo ser cultivada tanto em regiões tropicais quanto em zonas temperadas dos hemisférios Norte e Sul (Oliveira; Wander, 2023). Essa flexibilidade permite que a cultura seja explorada por uma ampla gama de produtores, desde pequenos agricultores familiares até grandes produtores comerciais, empregando diferentes níveis tecnológicos e diversas práticas de manejo (Silva; Wander, 2013).

O feijão-comum é a espécie mais conhecida dentro do gênero e inclui diversas variedades, como carioca, roxo, mulatinho e preto. Pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), essa leguminosa destaca-se na alimentação humana devido ao seu alto teor proteico, com os grãos contendo entre 20% e 35% de proteína (Pires *et al.*, 2005; Toledo; Canniatti-Brazaca, 2008).

O consumo diário de feijão no Brasil varia entre 50 e 100 g por dia/pessoa, correspondendo a aproximadamente 28% da ingestão diária de proteínas e 12% das calorias totais, dessa forma, além de ser uma importante fonte de proteínas vegetais, sob o ponto de vista nutricional, seu conteúdo calórico, mineral e vitamínico é igualmente relevante (Mesquita *et al.*, 2007). O grão, especialmente rico em fibras solúveis, está relacionado à redução dos níveis de colesterol e de açúcar no sangue em seres humanos, e à prevenção do câncer de cólon (Nalepa; Ferreira, 2013).

2.1.1. Fenologia / Hábitos de crescimento

A produção dessa leguminosa no país ocorre em três safras distintas: safra das águas, safra da seca e safrinha, o que favorece a oferta contínua do produto ao longo do ano (Coelho, 2021; Coelho *et al.*, 2021). A safra das águas, ou 1ª safra, é cultivada entre os meses de agosto e novembro nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Tocantins e Rondônia. Já a safra da seca, ou 2ª safra, ocorre entre

dezembro e abril nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, além do Norte, em único período de semeadura, onde o feijão é consorciado com o milho. A terceira safra, ou safrinha, é cultivada entre abril e julho no Centro-Sul do Brasil (EMBRAPA Arroz e Feijão, 2023).

Além de ser indiferente ao fotoperíodo, o que permite as três safras, o feijoeiro apresenta diferentes hábitos de crescimento, que podem ser classificados como determinados ou indeterminados, definidos pela presença do meristema terminal do caule principal da planta. No hábito de crescimento determinado, o meristema torna-se reprodutivo, enquanto no indeterminado permanece vegetativo, prolongando o crescimento da planta. As plantas podem ser categorizadas em portes tipo I (determinado, ereto e arbustivo), tipo II (indeterminado, ereto e arbustivo-trepador), tipo III (indeterminado, semi-trepador ou semiprostrado) e tipo IV (indeterminado, trepador ou volúvel) (Carbonell; Chiorato; Bezerra, 2021). Segundo Oliveira *et al.* (2018), o ciclo de vida das plantas de feijão se divide em fases vegetativa e reprodutiva, que são, por sua vez, subdivididas em estádios de crescimento específicos. A fase vegetativa (V) inclui os estádios V0, V1, V2, V3 e V4, enquanto a fase reprodutiva (R) compreende os estádios R5, R6, R7, R8 e R9. Cada estágio marca um estágio essencial no desenvolvimento da planta.

Atualmente, o Brasil possui 358 cultivares comerciais de feijão registradas no Registro Nacional de Cultivares (RNC) (Stoetzer, 2020). A cultivar BRS FC 104, pertencente ao grupo do feijão Carioca, foi lançada em 2017 e é registrada para cultivo na maioria das regiões produtoras do Brasil. Essa cultivar apresenta um hábito de crescimento indeterminado, classificado como tipo III. Com um ciclo muito precoce, que vai da emergência à colheita em apenas 65 dias, a ‘BRS FC 104’ se destaca pela rápida maturação, enquanto na maioria das cultivares de feijão os ciclos duram em torno de 90 dias (Stoetzer, 2020). Além da rápida maturação, essa cultivar apresenta alto potencial produtivo, alcançando uma média de 3.792 kg ha⁻¹, o que equivale a aproximadamente 60 kg de grãos por dia de ciclo (Melo *et al.*, 2017).

Os frutos do feijoeiro são do tipo legume, mais conhecido como vagem e possuem duas válvulas unidas por suturas. As vagens podem variar em formato, sendo cilíndricas ou achatadas, curtas ou compridas (12 cm a 15 cm ou mais), retas ou levemente curvas, e podem ou não ser deiscentes (abrem-se para liberar as sementes). A coloração das vagens também muda conforme o estágio de desenvolvimento da planta, variando entre verde e amarelo-palha, podendo ser uniforme ou apresentar manchas vermelhas, violáceas ou roxas (Carbonell; Chiorato; Bezerra, 2021).

A cultivar BRS FC 104 apresenta flores brancas e vagens que, na fase de maturação fisiológica, adquirem uma coloração avermelhada. À medida que atingem o ponto ideal para colheita, as vagens mudam para uma tonalidade amarela. Os grãos dessa cultivar são de cor bege-clara, com estrias marrons-claras, apresentando uma forma oblonga e uniforme, são curtos e possuem uma superfície opaca, sem brilho (Melo *et al.*, 2017).

2.1.2. Relevância Socioeconômica no Brasil e no mundo

O mercado global de grãos secos, especialmente leguminosas como feijão, ervilha, grão de bico e fava, está em expansão, impulsionado pela conscientização crescente sobre seus benefícios para a saúde. Estes alimentos são excelentes fontes de micronutrientes fundamentais, como potássio, magnésio, folato, ferro e zinco, e destacam-se como uma importante fonte de proteína em dietas vegetarianas (Coêlho, 2021).

A produção mundial de feijão, em particular, tem se pautado historicamente pelos objetivos de garantir a segurança alimentar e promover uma alimentação de alta qualidade nutricional (Carbonell; Chiorato; Bezerra, 2021). Os maiores produtores de feijão estão distribuídos por diversos continentes, com destaque para Américas, Ásia e África. Entre os principais produtores mundiais (em toneladas) estão Mianmar (5.846.622 t), Índia (5.310.000 t), Brasil (2.906.508 t), China (1.310.003 t) e Tanzânia (1.197.489 t) (Coêlho, 2023; Ferreira; Barrigossi, 2021). No mercado importador, Índia, China, Bangladesh, Estados Unidos e Egito figuram como os maiores consumidores de feijão (Coêlho, 2023).

A relevância do feijão-comum na sociedade brasileira é extremamente reconhecida, especialmente quando se analisam os dados de produção no país. Na safra de 2023/2024 a área de produção do feijão foi de 2.856,3 mil ha, com uma produção de 3.249,3 mil t, tendo uma média de produtividade de 1.138 kg ha⁻¹ ou de 18,97 sc ha⁻¹ (CONAB, 2024). Dentre as cinco regiões geográficas, o Sul se destaca como o principal produtor de feijão-comum, contribuindo com 35,81% da produção nacional e com 28,22% da área total dedicada ao cultivo dessa leguminosa. Em seguida, em quantidade de produção, estão as regiões Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte (Ferreira; Barrigossi, 2021). No Brasil, são cultivados 14 tipos de feijão, sendo os mais conhecidos o carioca, o preto, o fradinho (também chamado de macassar, caupi ou feijão-de-corda), além de cultivares coloridas, como o branco, vermelho, roxo e outros (Coêlho, 2023).

2.1.3. Desafios na produção do feijão

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, lançada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, constitui um apelo global para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e promover a paz e a prosperidade universais. A Agenda delineia 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que visam identificar e superar desafios globais em diferentes contextos (Bueno; Torres, 2022). Um dos desafios mundiais mais urgentes é a crescente demanda por alimentos, que exige uma produção que não apenas satisfaça as necessidades globais, mas também preserve os recursos naturais e o equilíbrio ambiental (Bueno; Torres, 2022).

Após décadas de declínio contínuo, o número de pessoas afetadas pela fome voltou a crescer a partir de 2015, segundo o Programa Mundial de Alimentos (PMA), 690 milhões de pessoas enfrentam a insegurança alimentar no mundo (Bueno; Torres, 2022). Neste cenário, destaca-se o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2, intitulado "Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável". Esse objetivo, também conhecido como Fome Zero, busca garantir, até 2030, sistemas de produção de alimentos sustentáveis e resilientes que aumentem a produtividade e ajudem a preservar os ecossistemas (Medeiros *et al.*, 2018). Nesse contexto, o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial de feijão (Coelho, 2023). Contudo, o feijoeiro é uma cultura que apresenta altas exigências nutricionais, principalmente devido ao seu sistema radicular reduzido e desenvolvimento precoce (Vieira *et al.*, 2015).

Um dos métodos adotados para aumentar a produtividade agrícola no Brasil é o uso de fertilizantes químicos. Embora esses insumos possam promover um incremento na produção, seu uso excessivo acarreta sérios prejuízos aos ecossistemas naturais e danos diretos à saúde humana e animal (Cerqueira *et al.*, 2015). Da mesma forma, a aplicação indiscriminada de agrotóxicos tornou-se um padrão no controle de pragas em diversas culturas comerciais, tanto no Brasil quanto em várias partes do mundo. Diante disso, uma série de desequilíbrios ecológicos têm sido verificados, incluindo a superpopulação de pragas, a seleção de biótipos resistentes e a poluição do solo e dos aquíferos (Oliveira *et al.*, 2006).

Nas últimas décadas, esforços significativos têm sido direcionados à adoção de métodos alternativos, visando a redução do uso de controles e fertilizantes químicos tradicionais (Cerqueira *et al.*, 2015). Ao promover o uso eficiente de recursos e práticas agronômicas sustentáveis para fertilização, monitoramento e proteção de colheitas, é possível alcançar uma redução substancial na demanda por fertilizantes químicos sintéticos, água e

pesticidas, sem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas (Karavidas *et al.*, 2022). Os autores ressaltam que as práticas agrônômicas de base biológica para a produção primária promovem positivamente as funções ecológicas, além de proporcionarem sustentabilidade econômica, alinhando-se aos ODS das Nações Unidas.

2.2.1. Bactérias promotoras do crescimento vegetal

As plantas interagem com uma ampla variedade de espécies microbianas que prosperam na rizosfera e na filosfera, modificando, assim, suas atividades biológicas essenciais e ativando mecanismos de defesa contra estresses abióticos e bióticos (Anand *et al.*, 2023). Diversas estruturas vegetais, como raízes, caules, folhas e até flores, criam condições favoráveis para a sobrevivência e o desenvolvimento de microrganismos. Além disso, esses microrganismos podem colonizar regiões internas das plantas, como o xilema e o floema (Elnahal *et al.*, 2022).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCV) são capazes de induzir o crescimento das plantas diretamente, ao melhorar a absorção de macronutrientes e minerais e ao aumentar a concentração de hormônios essenciais, e indiretamente, ao minimizar os efeitos negativos de uma variedade de patógenos (Anand *et al.*, 2023). Vários produtos à base de PGPR foram utilizados em aplicações agrícolas devido à sua capacidade de estimular o crescimento e de atuar como agentes de biocontrole (Elnahal *et al.*, 2022).

Essas bactérias produzem fitohormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, ao mesmo tempo que reduzem a expressão do ácido abscísico. A auxina, particularmente o ácido 3-indolacético (AIA), desempenha diversas funções no crescimento e desenvolvimento das plantas, como alongamento e a divisão celular, a iniciação das raízes e a biossíntese de etileno (Calvo, Nelson; Kloepper, 2014). Esse hormônio está presente em quase todas as fases do ciclo de vida vegetal, desde a germinação até a senescência. Adicionalmente, algumas bactérias têm a capacidade de sintetizar giberelinas e citocininas, hormônios que estão diretamente relacionados ao alongamento celular e à juvenilidade das plantas, resultando no aumento do porte e da longevidade dos vegetais (Guimarães *et al.*, 2018).

Portanto, a redução dos níveis de ácido abscísico, resultante da interação entre essas bactérias e as plantas, permite que os vegetais aumentem sua atividade em vários pontos do metabolismo primário, como a fotossíntese. O ácido abscísico é conhecido por inibir a síntese e degradação da clorofila, DNA e proteínas, o que pode levar à redução da expansão foliar e da atividade fotossintética (Guimarães *et al.*, 2018).

A enzima ACC-deaminase desempenha um papel fundamental na produção vegetal, uma vez que é responsável pela clivagem do aminoácido precursor de etileno, o ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC), resultando na redução dos níveis de ACC nas plantas. As BPCV têm a capacidade de capturar aminoácidos exsudatos pelas raízes na rizosfera e utilizá-los para sintetizar e secretar auxinas. Contudo, quando os níveis de auxinas nas plantas aumentam, ocorre um aumento na atividade da enzima ACC-sintase, que converte S-adenosil-L-metionina (SAM) em ACC. O ACC, por sua vez, é um precursor direto do etileno, sintetizado pela enzima ACC-oxidase (Glick, 2014)

O aumento nos níveis de etileno pode levar a respostas de estresse, inibição do crescimento, aumento da taxa de respiração celular e senescência da planta (Glick, 2014). Nesse cenário, as bactérias promotoras de crescimento desviam o ACC produzido na região radicular para seu próprio uso, degradando-o a partir da enzima ACC-deaminase. Este processo gera amônia, que é utilizada na síntese de aminoácidos essenciais para o metabolismo bacteriano, e α -cetobutirato, um composto que pode ser facilmente integrado ao ciclo de Krebs para a geração de energia através da respiração celular (Glick, 2014; Guimarães *et al.*, 2018).

Após o nitrogênio, o fósforo é o segundo elemento mais limitante para o crescimento das plantas na maioria dos solos. Diversos grupos de microrganismos presentes no solo e na rizosfera possuem a capacidade de extrair ou solubilizar o fósforo (P) de frações insolúveis de solo e de fosfatos inorgânicos naturais de baixa solubilidade. Essa solubilização pode resultar na produção de dióxido de carbono (CO_2) e ácidos orgânicos resultantes da mineralização do carbono orgânico, bem como na produção de enzimas e compostos quelantes, exercendo ação solubilizadora direta sobre os fosfatos inorgânicos, transformando CO_2 em H_2CO_3 (ácido carbônico), que solubiliza fosfatos de cálcio e magnésio (Guimarães *et al.*, 2018).

A produção de sideróforos é uma estratégia definida por microrganismos que busca melhorar a captação de ferro, um elemento frequentemente indisponível para as plantas na forma de hidróxido férrico (Elnahal *et al.*, 2022). Os sideróforos participam das interações entre microrganismos e influenciam a nutrição das plantas, facilitando a absorção de ferro em condições de deficiência desse nutriente no solo. Além de sua função na nutrição, os sideróforos também atuam na dinâmica da relação entre as bactérias promotoras de crescimento vegetal e alguns patógenos de plantas (Vieira *et al.*, 2015).

2.2.2. Gênero *Pseudomonas*

O gênero *Pseudomonas* compreende mais de 120 espécies de bactérias gram-negativas amplamente distribuídas em solos e ambientes aquáticos. Diversas espécies de *Pseudomonas* atuam estimulando o crescimento vegetal e na proteção contra patógenos, além de promover a solubilização de nutrientes e metais pesados. Essas bactérias também são conhecidas por sua capacidade de biorremediação de solos contaminados por herbicidas, fertilizantes, metais pesados e hidrocarbonetos (Ruiz-Hernandez; Madrigal-Perez; González-Hernández, 2024; Sousa, 2023). Além disso, algumas cepas de *Pseudomonas* spp. estimulam o crescimento das plantas por meio de processos como fixação de nitrogênio, solubilização de fosfato, produção de ácidos orgânicos e ácido 3-indolacético (Botelho; Mendonça-Hagler, 2006).

As espécies de *Pseudomonas* são agentes eficazes de biocontrole, protegendo as plantas contra patógenos ao competir pelos exsudatos radiculares e ao resistir à predação através de mecanismos antipredatórios, como a toxicidade e a produção de metabólitos secundários (Ruiz-Hernandez; Madrigal-Perez; González-Hernández, 2024). Segundo os autores, *Pseudomonas aeruginosa*, em particular, atua como agente de biocontrole em culturas como batata, inhame e tomate sintetizando uma variedade de metabólitos bioativos que combatem fungos e bactérias e aumentam a solubilização de nutrientes, o que contribui para o crescimento da raiz, das folhas e eleva os níveis de clorofila.

2.2.3. Gênero *Bacillus*

O gênero *Bacillus*, pertencente à família Bacillaceae, é composto por um grupo altamente heterogêneo de bactérias gram-positivas (Ferreira e Bettiol, 2019). As espécies de *Bacillus* são aeróbicas, embora algumas sejam capazes de crescer em condições de anaerobiose facultativa. Com ocorrência cosmopolita, essas bactérias são encontradas no solo, superfície de plantas, rizosfera, grãos armazenados, dentre outros (Monnerat *et al.*, 2020).

As bactérias do gênero *Bacillus* podem ser consideradas promotoras do crescimento de plantas (RPCP), uma vez que demonstram a capacidade de colonizar a rizosfera e estimular o crescimento vegetal. Essas bactérias são essenciais para a reciclagem de nutrientes e possuem um grande potencial como biofertilizantes, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola e beneficiando as plantas durante períodos de estresse (Junior *et al.*, 2022). Além disso, as bactérias desse gênero são amplamente utilizadas no controle biológico de patógenos (Monnerat *et al.*, 2020).

As características diretas de promoção do crescimento vegetal associadas ao gênero *Bacillus* incluem a produção de hormônios vegetais, além da capacidade de assimilar e solubilizar nutrientes. Essas características contribuem de forma significativa para o desenvolvimento saudável das plantas. Por outro lado, as características indiretas estão relacionadas à capacidade de competir por espaço e recursos naturais contra outros microrganismos e promover a indução de resistência nas plantas, além do controle de fitopatógenos (Ferreira; Bettiol, 2019).

Estudos indicam que isolados de *Bacillus* podem aumentar a massa fresca da parte aérea e das raízes da soja, além de promover um incremento no número de raízes laterais. Na lavoura de cenoura, sugeriu-se um expressivo aumento na produtividade após a aplicação de compostos fermentados com linhagens selecionadas de *Bacillus* sp. (Júnior *et al.*, 2022).

2.2.3. Gênero *Klebsiella*

O gênero *Klebsiella*, pertencente à família Enterobacteriaceae, é composto por bactérias desprovidas de flagelos, baciliformes, gram-negativas e anaeróbicas facultativas, podendo ser encontradas no solo, água e plantas. Em plantas, destaca-se por sua capacidade de estabelecimento de associações endofíticas, promovendo benefícios como a fixação biológica de nitrogênio (Ramos, 2024).

Essas bactérias endofíticas podem ser consideradas uma estratégia promissora para o controle biológico, devido à sua capacidade de produzir hormônios de crescimento, como ácido indolacético e citocininas. Além disso, melhoram a absorção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, regulando parâmetros nutricionais, como a razão carbono-nitrogênio, e contribuindo para o desenvolvimento saudável das plantas. A análise genômica de *Klebsiella pneumoniae* revelou genes relacionados à degradação de carboidratos, incluindo compostos aromáticos e celulolíticos, destacando-se por sua importância na ciclagem de nutrientes e carbono (Miguel *et al.*, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), localizada no Câmpus de Jaboticabal - SP, no Laboratório de Bioquímica de Microrganismos e de Plantas (LBMP) e Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA). As estirpes bacterianas utilizadas neste estudo, isolado 1, isolado 13 e isolado 43,

respectivamente *Bacillus* sp., *Klebsiella* sp. e *Pseudomonas* sp., foram obtidas no próprio LBMP e selecionadas, com base no seu potencial para a promoção do crescimento vegetal. Esses isolados bacterianos possuem características promissoras, como a produção de ácido indolacético (AIA), tolerância a diferentes concentrações de salinidade e capacidade de solubilizar fosfato e potássio, entre outras.

Durante o desenvolvimento deste estudo, o isolado 13 foi reidentificado, sendo classificado como gênero *Klebsiella*. É importante destacar que alguns testes realizados ao longo da pesquisa incluíram apenas os isolados 1 (*Bacillus*) e 43 (*Pseudomonas*), o que se deve ao fato do gênero *Klebsiella* incluir espécies patogênicas e, portanto, por motivos de biossegurança, o isolado correspondente foi excluído dos experimentos subsequentes.

3.1. Testes *in vitro*

Teste de compatibilidade

Para a preparação do inóculo, as cepas bacterianas que estavam armazenadas em -80°C, em criotubos com 20% de glicerol, foram retiradas do estoque e 50 µl da cultura foram inoculados em um erlenmeyer contendo 50 mL de meio LB (*Luria Bertani*). Após a inoculação, foram incubados a 30°C e 150 rotações por minutos (rpm) durante 16 - 18 horas (*overnight*). Os ensaios foram conduzidos em placas de Petri esterilizadas. Foram aplicadas duas abordagens experimentais: na primeira abordagem (Figura 1A), dois isolados bacterianos foram estriados em linhas paralelas e perpendiculares, equidistantes e com comprimento um pouco menor que o diâmetro da placa. Na segunda abordagem (Figura 1B), um dos isolados foi estirado cobrindo completamente o lado esquerdo da placa, enquanto o segundo foi estirado no lado direito em linhas paralelas. As duas abordagens contaram com três repetições, sendo elas em meio LB, NB (*Nutrient Broth*) e TSB (*Tryptic Soy Broth*).

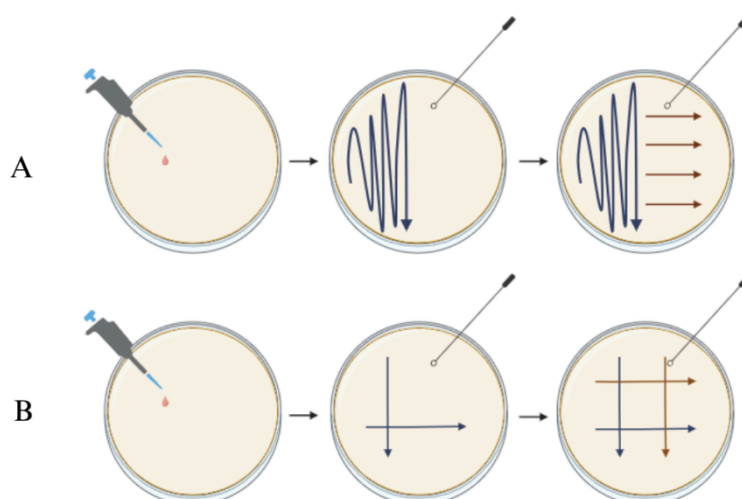


Figura 1 - Exemplificação das metodologias utilizadas no teste. Cores diferentes representam isolados bacterianos distintos aplicados no ensaio.

Teste de germinação

As sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* ‘BRS FC104’) utilizadas no teste foram cedidas pelo LAPDA. Para o preparo do experimento, as sementes de feijão foram submetidas previamente a desinfestação superficial com álcool 70% por 10 segundos e hipoclorito de sódio por 10 segundos, seguido de três lavagens com água esterilizada. Os testes foram conduzidos em placas de Petri em três repetições com 16 sementes cada, as quais foram embebidas com 10 mL do inóculo de cada bactéria, crescidos em meio LB, incubados *overnight* a 30 °C e 150 rpm. Em seguida, as sementes foram distribuídas sobre papel filtro estéril e umedecidos com água estéril. Após a montagem dos testes, as sementes foram colocadas em incubadoras com iluminação constante e mantidas a uma temperatura de 20°C por um período de 7 dias (Figura 2), conforme descrito por Martins *et al.* (2015).

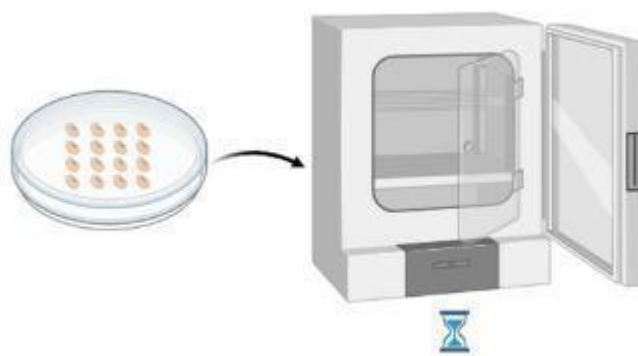


Figura 2 - Demonstração da montagem do teste, onde as placas foram incubadas em câmara BOD (*Biochemical Oxygen Demand*).

Para avaliar a influência da inoculação dos isolados bacterianos sobre a germinação das sementes, foram usados como parâmetros a porcentagem final de sementes germinadas e o índice de velocidade de germinação (IVG). O IVG foi calculado somando-se o número de sementes germinadas diariamente e dividindo pelo respectivo número de dias transcorridos desde o início do teste (Martins *et al.*, 2015). Os dados referentes ao comprimento da parte aérea e da radícula foram obtidos utilizando uma régua graduada.

3.2. Teste *in vivo*

3.2.1. Condições do estudo e delineamento experimental

O experimento foi realizado na cidade de Jaboticabal - SP, Latitude: 21° 15' 19" Sul, Longitude: 48° 19' 21" Oeste, entre os meses de julho e outubro de 2024. O clima da cidade é do tipo Cwa-subtropical-mesotérmico, com uma temperatura média anual de 22,0 °C e precipitação de 1.424,6 mm. Os solos predominantes são Latossolo Vermelho-Escuro de fase arenosa e Latossolo Roxo (Embrapa, 2005; Greggio; Pissarra; Rodrigues, 2009).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 9 tratamentos e 4 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Os tratamentos foram definidos da seguinte forma: 1) *Bacillus* sp., 2) *Pseudomonas* sp., 3) *Klebsiella* sp., 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (sem inoculação e com adubo) e 9) controle negativo (sem inoculação e sem adubo).

3.2.2 Preparo dos vasos e meio inóculos das sementes

O solo utilizado foi Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico (Latossolo) de textura argilosa. Antes da montagem do experimento, o solo foi esterilizado em estufa a 100 °C por 48 horas. Após a esterilização, foi misturado à areia na proporção de 2:1. O substrato preparado foi distribuído em vasos plásticos de 5 litros, previamente higienizados, sendo estes preenchidos com 4 kg do substrato. A análise física e química do solo foi descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
(CaCl ₂)	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mmol _c .dm ⁻³						
5,7	16,1	27,8	2,5	19	8	17,8	29,5	47,3	62,4
Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classe textural						
61,4	6,6	32,0	Média						

Para a inoculação das sementes, o inóculo foi preparado previamente mediante a inoculação de 50 µL de cada uma das estirpes selecionadas (*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. e *Klebsiella* sp.) em meio LB líquido. As culturas bacterianas foram incubadas a 30°C e 150 rpm por 24 horas.

Posteriormente, a densidade óptica (DO_{600 nm}) foi ajustada para o início da fase logarítmica de crescimento de cada isolado, conforme previamente determinado. Os ajustes foram: 1,0 nm para os isolados 13 e 43, e 0,3 nm para o isolado 01, com valores correspondentes de unidades formadoras de colônia (UFC) de 1,55x10⁹, 7,60x10⁶ e 7,80x10⁴, respectivamente. Esses dados foram extraídos de curvas de crescimento elaboradas em estudos anteriores. No momento da semeadura, as sementes foram embebidas em 20 mL do inóculo durante 3 minutos. As sementes dos grupos controle foram embebidas em 20 mL de meio de cultura LB. Em seguida, foram semeadas três sementes por vaso em cada tratamento. Logo após, os vasos foram dispostos na casa de vegetação sob condições controladas. As condições médias mantidas foram de 25 ± 2°C, 70% de umidade relativa, com um turno de rega acontecendo em dois períodos do dia, às 9:00 e 16:00 horas.

Após a emergência da primeira folha verdadeira das plantas, o solo foi adubado com 300 kg/ha do fertilizante granulado NPK 08-28-16 (contendo 8% de nitrogênio, 28% de fósforo e 16% de potássio). Durante o cultivo, foram realizadas duas reinoculações, aos 18 e 36 dias após a emergência das plantas (DAE). As reinoculações consistiram na aplicação de 1 mL do meio de cultura de cada tratamento, que foi preparado de acordo com o protocolo utilizado na inoculação inicial.

3.2.3 Avaliações do feijoeiro

Foram realizadas avaliações do crescimento das plantas. Os parâmetros analisados incluem: número de folhas, teor relativo de clorofila, massa fresca, massa seca e teor de água (conteúdo hídrico). O número de folhas foi contabilizado manualmente em cada tratamento. A leitura do teor de clorofila total foi realizada utilizando o clorofilômetro Clofilog da marca Falker. Em cada período de avaliação, foi amostrada a terceira folha composta do folículo de cada tratamento. Aos 55 DAE, foi realizada a determinação da área foliar e das massas frescas e secas de uma planta de cada tratamento. Inicialmente, as plantas foram retiradas dos vasos e separadas em raízes e parte aérea, sendo esta última subdividida em caules, folhas, flores e vagens. As partes foram pesadas para obter a massa fresca. Em seguida, as folhas foram utilizadas para a determinação da área foliar por meio do medidor LI 3000 da LiCor.

Posteriormente, todas as partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e secas em estufa a 60°C por 72 horas. Após o período de secagem, as amostras foram novamente pesadas para a obtenção da massa seca. As plantas foram mantidas na casa de vegetação por 72 dias. Após esse período, foi realizada a colheita das vagens secas. As vagens colhidas foram debulhadas manualmente para a pesagem dos grãos. Os dados obtidos durante o estudo foram submetidos à análise estatística. Foram realizados testes de normalidade para posterior análise de variância e a comparação das médias feita por meio do teste Scott-Knott no Agroestat.

4. RESULTADOS

4.1. Testes *in vitro*

No teste de compatibilidade, todas as bactérias testadas foram compatíveis entre si. Em nenhuma das associações entre os isolados foi constatado antagonismo, ou seja, nenhuma

bactéria isolada inibiu o crescimento das demais (Tabela 2 e Figura 3). Esses resultados indicam que os isolados bacterianos podem ser usados na elaboração de consórcios para os testes *in vivo*.

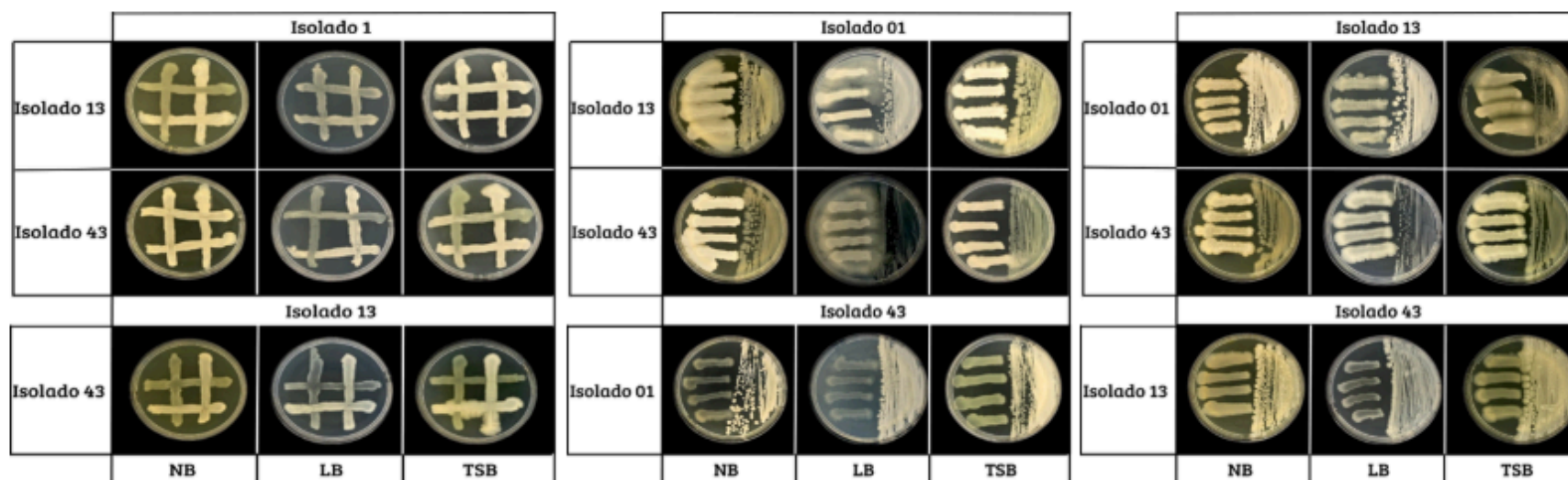


Figura 3 - Resultados do teste de compatibilidade entre os isolados bacterianos, evidenciando as interações positivas.

Tabela 2 - Representação das interações entre as cepas bacterianas independentemente da cultura.

Isolados bacterianos			
	<i>Bacillus</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Bacillus</i>	+	+	+
<i>Klebsiella</i>	+	+	+
<i>Pseudomonas</i>	+	+	+

Sinais positivos (+) indicam interações favoráveis e sinais negativos (-) interações antagônicas.

Avaliando a porcentagem de germinação, observa-se que ao longo do tempo o Isolado 43 (*Pseudomonas* sp.) se destacou, apresentando uma maior porcentagem de germinação, seguido por LB, água e Isolado 1 (*Bacillus* sp.). Porém, ao avaliar o número de sementes germinadas ao final dos sete dias, a inoculação com a cepa de *Pseudomonas* sp. demonstrou desempenho significativamente superior em comparação aos demais tratamentos (Figura 4). Já o isolado 1 (*Bacillus* sp.) não apresentou diferença significativa em relação aos controles utilizados (água e LB).

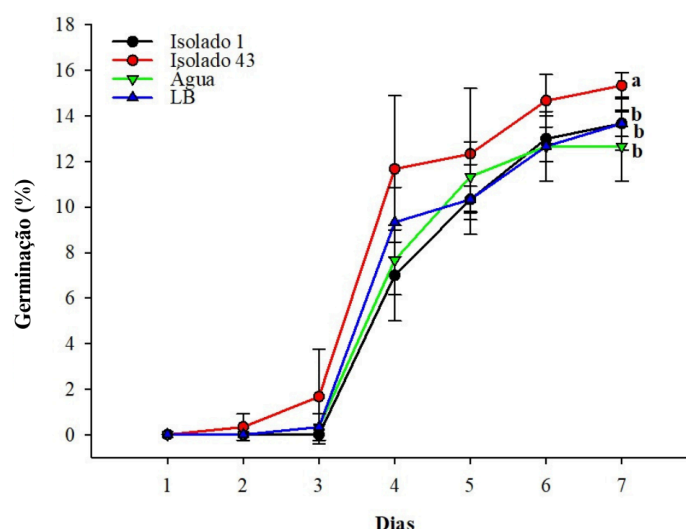


Figura 4 - Porcentagem de germinação ao longo de 7 dias em resposta à inoculação com isolados bacterianos. Os tratamentos apresentados são: Isolado 1 - *Bacillus*, Isolado 43 - *Pseudomonas* e LB - meio LB. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O índice de velocidade de germinação (IVG) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, com destaque para o isolado de *Pseudomonas* (Figura 5), que resultou em um IVG superior quando comparado com as sementes do controle (tratadas com água e meio Lb) e as sementes tratadas com o isolado de *Bacillus*.

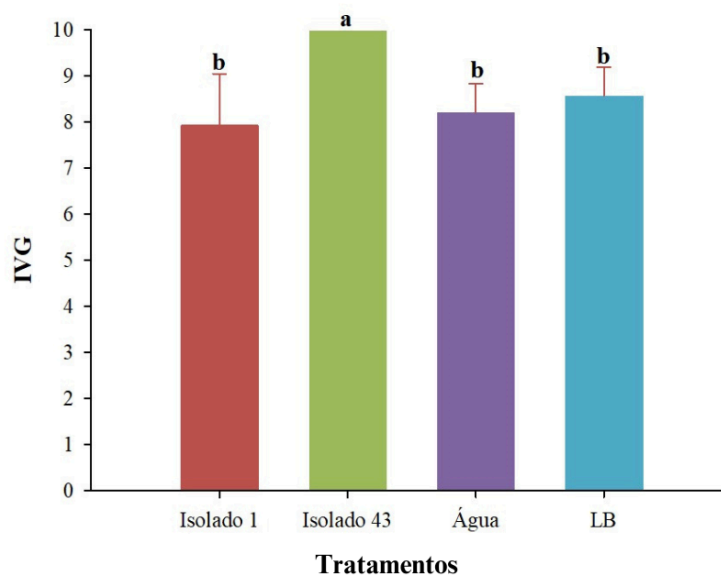


Figura 5 - Influência dos isolados bacterianos no índice de velocidade de germinação das sementes de feijão ‘BRS FC104’. Os tratamentos apresentados são: isolado 1 - *Bacillus*, isolado 43 - *Pseudomonas* e LB - meio LB. Colunas seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na avaliação do comprimento radicular (Figura 6A), as sementes tratadas com água e com o isolado 43 apresentaram tendência de serem superiores em relação aos tratamentos com meio LB e isolado 1. De forma semelhante, na análise do comprimento da parte aérea (Figura 6B), não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

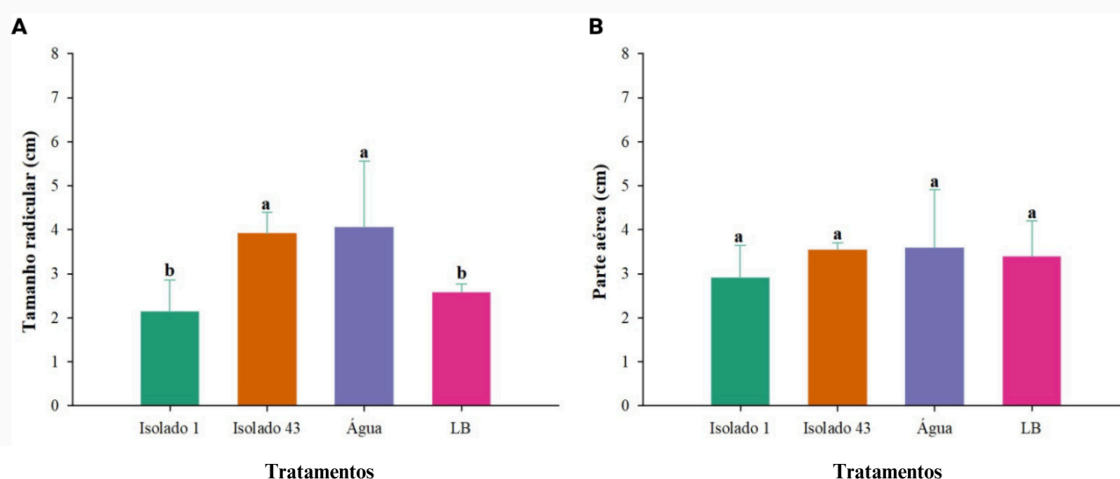


Figura 6 - Comprimento da radícula (A) e da parte aérea, hipocótilo (B), das plântulas do feijoeiro ‘BR FC104’. Os tratamentos apresentados são: isolado 1 - *Bacillus*, isolado 43 - *Pseudomonas* e LB - meio LB. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%.

4.2. Teste *in vivo*

A área foliar e o número de folhas das plantas em respostas aos diferentes tratamentos podem ser observadas na Figura 7. Observa-se que os tratamentos 1 (*Bacillus*), 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*), 7 (consórcio bacteriano) e 9 (controle negativo), não apresentaram diferenças significativas entre si e resultaram em um maior incremento na parte aérea, com acréscimos de até 620 cm², refletindo-se em uma maior área foliar, quando comparados aos tratamentos de controle. Por sua vez, os tratamentos 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*) e 8 (controle positivo), não tiveram participação no aumento na área foliar.

Os tratamentos 1 (*Bacillus*), 2 (*Pseudomonas*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 8 (controle positivo), demonstraram número de folhas superiores, com incremento de até 4 folhas em comparação aos demais tratamentos: 3 (*Klebsiella*), 7 (consórcio bacteriano) e 9 (controle negativo).

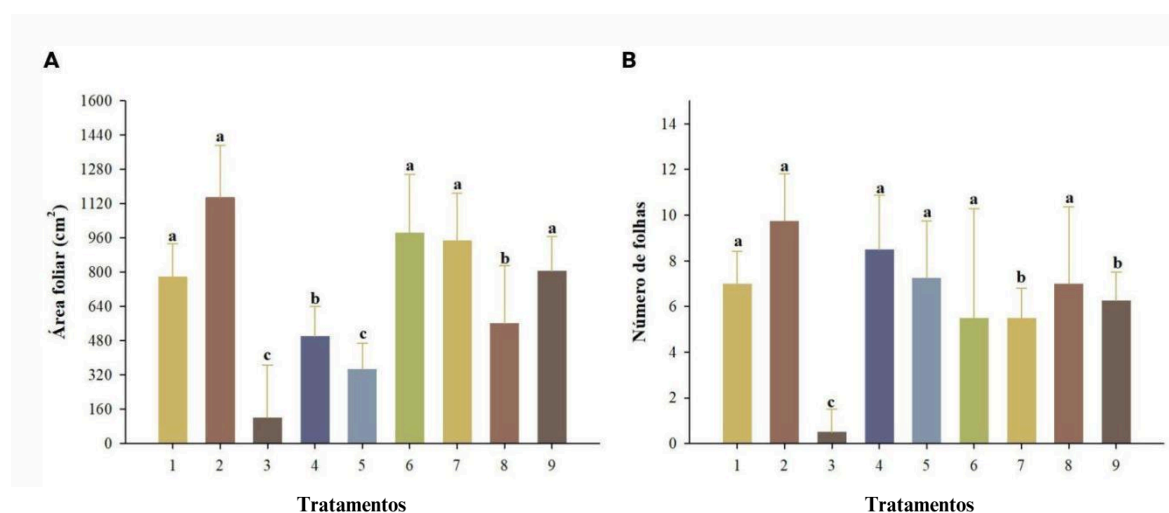


Figura 7 - Área foliar (A) e número de folhas (B) do feijoeiro 'BR FC104'. Letras distintas diferem pelo teste Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

Ao analisar a massa fresca das folhas do feijoeiro 'BRS FC104' (Figura 8), os tratamentos 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 7 (consórcio bacteriano) apresentaram aumentos significativos na massa de aproximadamente 10 g em comparação aos tratamentos de controle. Contudo, os tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus*

+ *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo) não expressaram efeito no incremento das massas.

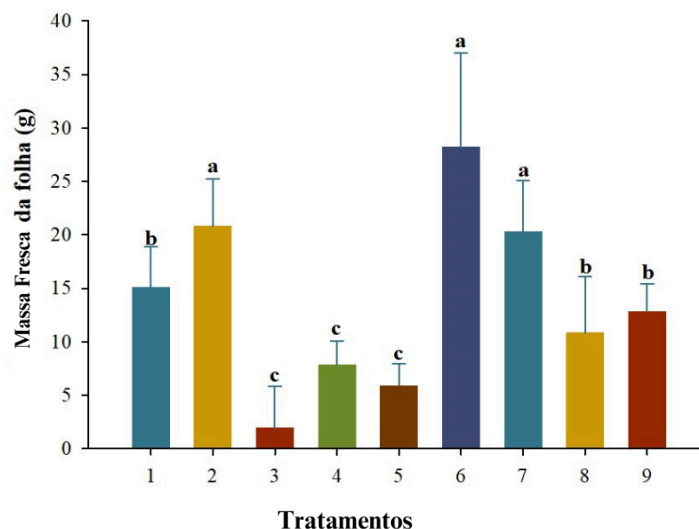


Figura 8 - Efeito da inoculação dos isolados bacterianos sobre a massa fresca das folhas do feijoeiro ‘BRS FC104’. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

A massa fresca do caule (Figura 9 A), teve incrementos de até 25 g em resposta à inoculação com os tratamentos 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 7 (consórcio bacteriano), quando comparados com os tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo). Enquanto, a massa fresca das raízes (Figura 9 B) foi positivamente influenciada, apresentando acréscimos de até 35 g nos tratamento 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*), em relação aos tratamentos 1 (*Bacillus*), 2 (*Pseudomonas*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo).

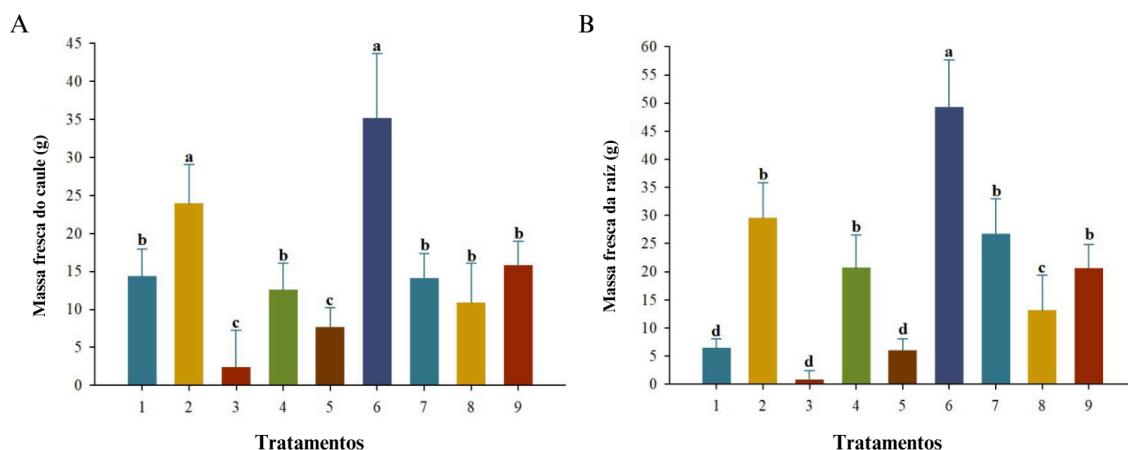


Figura 9 - Efeito da inoculação dos isolados bacterianos sobre a massa fresca do caule (A) e das raízes (B) do feijoeiro ‘BRS FC104’. Letras distintas diferem pelo teste Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

No que se refere à massa fresca total das plantas (Figura 10 A) e ao teor de água (Figura 10 B) em cada tratamento, os inóculos 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 7 (consórcio bacteriano) refletiram em uma maior massa fresca total e, da mesma forma, maior conteúdo hídrico das plantas, com diferenças de até 80 g em relação aos tratamentos de controle. Em contrapartida, as plantas submetidas aos demais tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo), não obtiveram respostas favoráveis em relação a esses parâmetros.

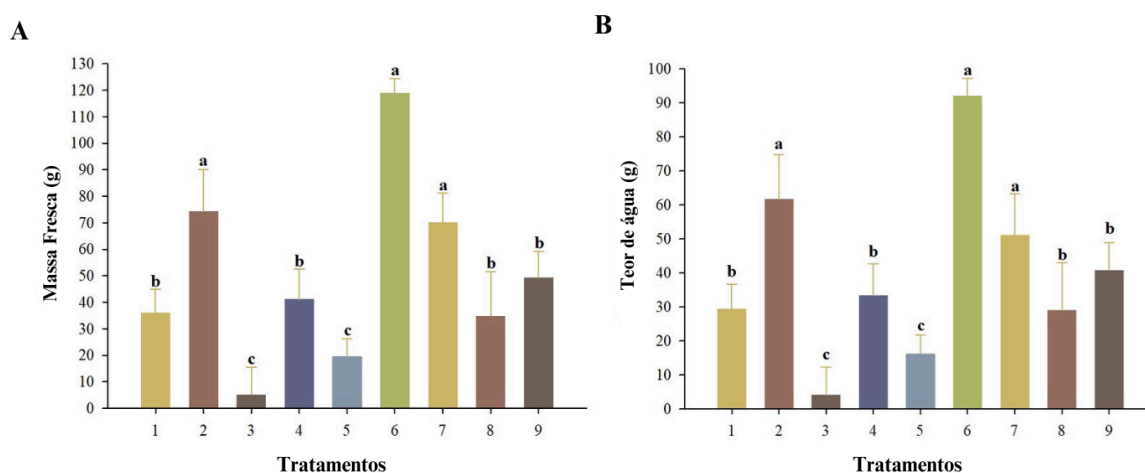


Figura 10 - Massa fresca total (A) e Teor de água (B) das plantas nos diferentes tratamentos. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

Resultados semelhantes foram observados na análise da massa seca das folhas (Figura 11), onde os tratamentos 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 7 (consórcio bacteriano) apresentaram aumentos significativos de até 4 g quando comparado aos tratamentos de controle (Figura 9). Contudo, os tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo) não expressaram efeito no incremento da massa analisada.

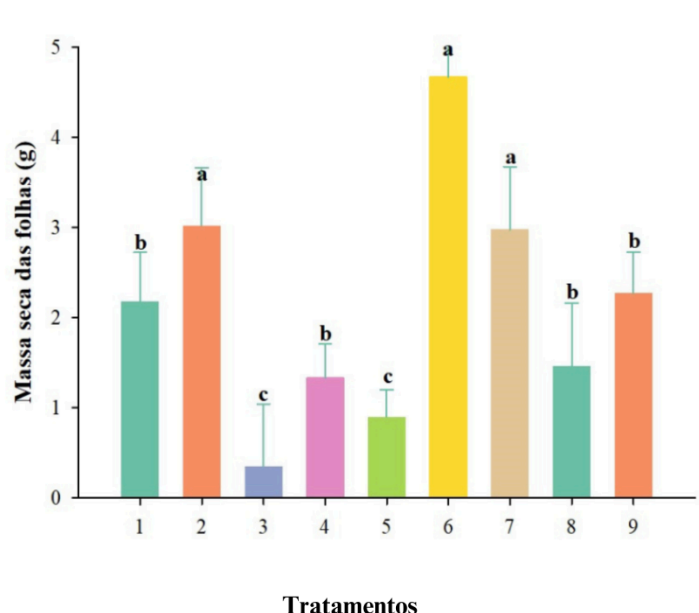


Figura 11 - Efeito da inoculação dos isolados bacterianos sobre a massa seca das folhas do feijoeiro 'BRS FC104'. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

Durante a avaliação da massa seca do caule (Figura 12 A) e das raízes (Figura 12 B), os resultados obtidos foram semelhantes aos observados na análise da massa das folhas, sendo observado um incremento superior das massas do caule e raiz de até 5 g em resposta à inoculação com os tratamentos 2 (*Pseudomonas*) e 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*), quando comparados com os tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5

(*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo).

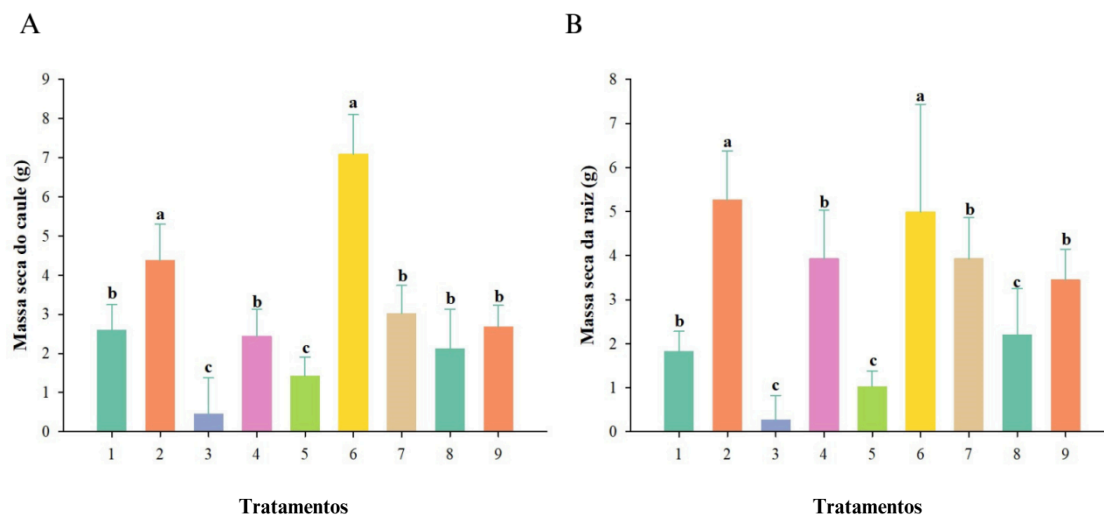


Figura 12 - Efeito da inoculação dos isolados bacterianos sobre a massa seca do caule (A) e massa seca das raízes (B), respectivamente, do feijoeiro ‘BR FC104’. Letras distintas diferem pelo teste Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

Na Figura 13 é apresentada a massa seca total das plantas em cada tratamento. Foram observados nesse parâmetro incrementos de até 10 g nos tratamentos 2 (*Pseudomonas*), 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) e 7 (consórcio bacteriano), em relação aos tratamentos de controle. Os mesmos resultados não foram observados nos tratamentos 1 (*Bacillus*), 3 (*Klebsiella*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo).

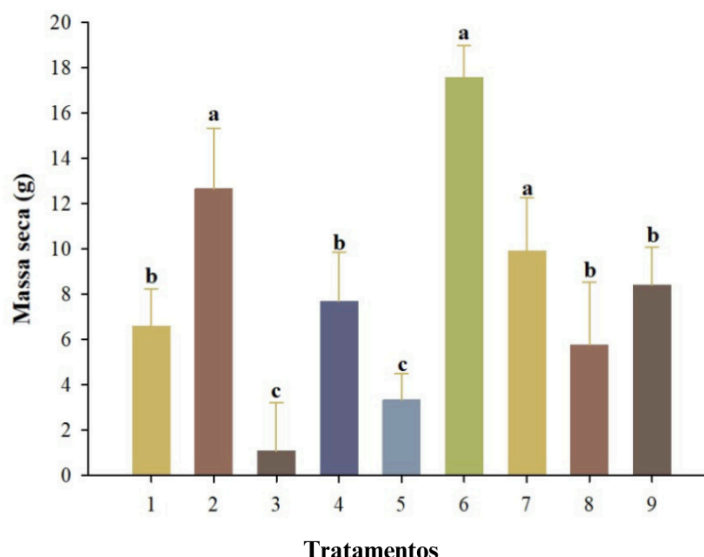


Figura 13 - Massa seca total do feijoeiro 'BRS FC104' em resposta aos tratamentos. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

O teor relativo de clorofila total nas folhas das plantas (Tabela 3) não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos amostrados.

Tabela 3 - Efeito dos tratamentos no teor relativo de clorofila total do feijoeiro 'BRS FC104'.

Tratamentos	Dia 25 DAE	Dia 40 DAE	Dia 55 DAE
1	39,72 a	34,95 a	33,52 a
2	38,46 a	34,32 a	34,15 a
3	45,07 a	39,50 a	33,77 a
4	37,86 a	33,30 a	30,72 a
5	39,81 a	36,90 a	31,90 a
6	42,86 a	36,00 a	29,17 a
7	36,25 a	35,80 a	30,27 a
8	43,13 a	32,87 a	30,10 a
9	39,47 a	36,82 a	35,25 a
Causas de variação			
Ftrat	1,13 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,72 ^{NS}
CV (%)	14,22	14,55	17,02

Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{NS} = Não significativo pelo teste F. CV (%) = Coeficiente de variação. DAE = Dias após a germinação. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo). DAE = dias após a emergência.

A Figura 14 ilustra as plantas respectivas de cada tratamento aos 55 DAE.

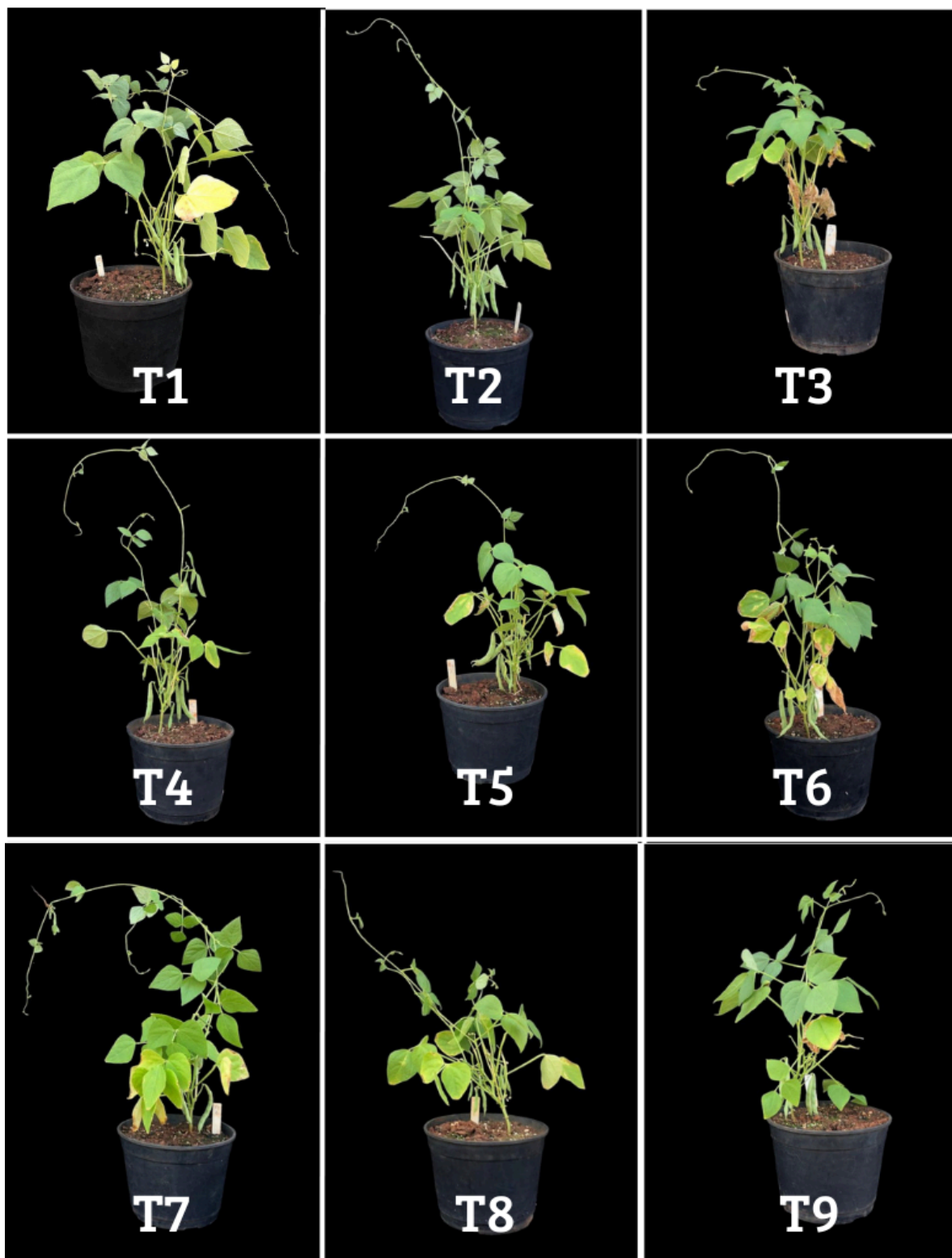


Figura 14 - Visão geral do feijoeiro 'BRS FC104' aos 55 dias após a emergência em resposta aos tratamentos: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

A produtividade dos feijoeiros (Figuras 15 e 16) foi positivamente influenciada pelos tratamentos 1 (*Bacillus*), 2 (*Pseudomonas*), 4 (*Bacillus* + *Klebsiella*), 7 (consórcio bacteriano), 8 (controle positivo, com adubo) e 9 (controle negativo, sem adubo), os quais tiveram aumento significativo na produtividade. Todavia, os tratamentos 3 (*Klebsiella*), 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*) e 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) não resultaram em incrementos significativos na produtividade.

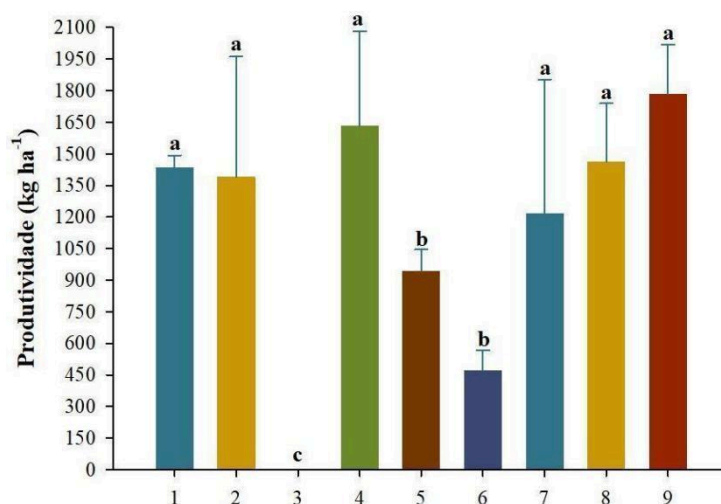


Figura 15 - Produtividade dos feijoeiros ‘BRS FC104’ em resposta aos tratamentos. Letras distintas diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Os tratamentos apresentados são: 1) *Bacillus*, 2) *Pseudomonas*, 3) *Klebsiella*, 4) *Bacillus* + *Klebsiella*, 5) *Bacillus* + *Pseudomonas*, 6) *Pseudomonas* + *Klebsiella*, 7) consórcio bacteriano, 8) controle positivo (com adubo) e 9) controle negativo (sem adubo).

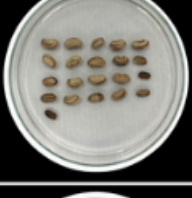
Tratamentos	Repetições		
Bacillus			
Pseudomonas			
Bacillus + Klebsiella			
Bacillus + Pseudomonas			
Pseudomonas + Klebsiella			
Consórcio bacteriano			
Controle positivo			
Controle negativo			

Figura 16 - Ilustração da produtividade de cada tratamento.

5. DISCUSSÃO

Durante a pesquisa, evidenciou-se a relevância das inoculações de *Pseudomonas* e da associação entre *Pseudomonas* e *Klebsiella* no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) ‘BRS FC104’.

Os resultados obtidos no teste de germinação corroboram o estudo de Correia (2017), que destacou a influência positiva da inoculação de *Pseudomonas* na emergência de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.). Neste trabalho, o tratamento das sementes com o inóculo possibilitou melhorias na porcentagem de germinação e no índice de velocidade de germinação. Esses efeitos podem ser atribuídos à capacidade que a bactéria tem na produção de hormônios vegetais, especialmente giberelinas, as quais atuam estimulando a germinação e ao desenvolvimento inicial das plântulas (Botelho; Mendonça-Hagler, 2006; Correia, 2017).

No decorrer do experimento, os ensaios *in vivo* ocorreu o mesmo padrão, com a *Pseudomonas* em destaque nas variáveis analisadas. A massa vegetal analisada, tanto fresca quanto seca, foi na planta que teve sua inoculação com *Pseudomonas*. Isso provavelmente está ligado à capacidade de produção de hormônios vegetais, como auxinas, citocininas e giberelinas, que estimulam o crescimento e desenvolvimento das plantas (Silva, 2022).

O incremento substancial nas massas das plantas em resposta ao tratamento com *Pseudomonas* foi observado por Soares (2011), que relatou promoção de crescimento vegetal, com aumento significativo na biomassa seca total e no comprimento das raízes de amendoim, em resposta à inoculação com isolados bacterianos de *Pseudomonas* spp. Além do mais, *Pseudomonas aeruginosa* foi descrita como agente de biocontrole em culturas como batata, inhame e tomate, sintetizando uma variedade de metabólitos bioativos que combatem fungos e bactérias e aumentam a solubilização de nutrientes, o que contribui para o crescimento da raiz e das folhas (Ruiz-Hernandez; Madrigal-Perez; González-Hernández, 2024).

Pode-se destacar que nesse estudo, que *Bacillus* sp. não apresentou efeito na germinação das sementes do feijoeiro, não diferenciando-se estatisticamente dos controles. Buchelt *et. al* (2019) e Junges *et al.* (2013) descreveram os mesmos resultados na germinação ao inocular sementes de milho com *Bacillus*. De acordo com Gómez (2024), as respostas variadas na emergência das plantas inoculadas com *Bacillus* podem ser atribuídas, em grande parte, à dificuldade de estabelecimento do microrganismo tanto na semente quanto na plântula, sendo essa interação essencial para a promoção dos benefícios esperados.

A inoculação com a cepa de *Bacillus* tem sido amplamente estudada devido aos seus potenciais benefícios no crescimento vegetal, porém o mesmo não teve total destaque neste

estudo. Pode-se destacar alguns estudos, como Ferreira e Bettiol (2019), que apresentam a ação de *Bacillus* na promoção do crescimento vegetal na cultura milho. A ação positiva da inoculação de isolados de *Bacillus subtilis*, também foi descrita no trabalho de Costa *et al.* (2019), onde foram relatadas respostas favoráveis no crescimento e desenvolvimento da soja. Ainda, Júnior *et al.* (2022) revelaram que a inoculação de isolados de *Bacillus* em cultivares de soja resultou em um aumento significativo na biomassa da parte aérea e das raízes, além de promover o desenvolvimento de raízes laterais. Essa resposta foi atribuída ao efeito benéfico do gênero sobre a produção ou alteração da concentração de fitohormônios, fixação do nitrogênio, solubilização de fosfatos minerais ou outros nutrientes do solo, pelo aumento da produção de raízes e sideróforos (Junior *et al.*, 2022).

No entanto, no presente estudo, os resultados obtidos com a inoculação do isolado de *Bacillus* não diferiram estatisticamente em relação aos tratamentos controles. Resultados semelhantes foram descritos por Cerqueira *et al.* (2015), que observaram um efeito limitado da inoculação com *Bacillus* em feijão. A ausência de respostas adequadas à promoção do crescimento vegetal mediante a inoculação de isolados do gênero *Bacillus* podem estar condicionados a uma série de fatores, dentre eles, as condições ambientais (características físicas e químicas do solo), condições nutricionais do solo e a especificidade da interação entre a bactéria e a planta, sendo o genótipo da planta um fator determinante para a obtenção de bons resultados com a inoculação (Soave. 2023).

No que se diz respeito do isolado de *Klebsiella*, observou-se que sua inoculação resultou nos menores índices de massa analisados, inclusive inferiores aos tratamentos de controle. Embora o gênero seja amplamente relatado como promotor de crescimento vegetal, estudos, como o de Silva *et al.* (2017), indicam que a inoculação com cepas de *Klebsiella* em sorgo não apresentou efeitos significativos na promoção do crescimento vegetal. Martins (2013) atribuiu essa inatividade à liberação, pelas células vegetais, de substâncias inibidoras do crescimento microbiano. Segundo o autor, esse mecanismo é essencial para que a planta controle o desenvolvimento de microrganismos endofíticos ou patógenos. Sem essa regulação, a comunidade bacteriana poderia crescer de forma descontrolada, comprometendo a saúde da planta e, eventualmente, levando-a à morte.

Este estudo evidenciou que a interação entre *Pseudomonas* e *Klebsiella* resultou nos maiores índices de massa quando comparados aos demais tratamentos aplicados às plantas. Resultados semelhantes foram apresentados por Sandini *et al.* (2024), que observaram efeitos favoráveis no crescimento do milho após a inoculação com um consórcio de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*. Os benefícios dessa interação foram atribuídos à

capacidade das bactérias de promover o crescimento vegetal indiretamente, mitigando ou prevenindo os efeitos deletérios de patógenos por meio de diversos mecanismos de ação.

Além disso, Prasad e Babu (2017) discutiram em sua pesquisa a habilidade das bactérias do gênero *Pseudomonas* em competir de forma eficaz com outros microrganismos e produzir metabólitos secundários, os quais atuam na estimulação do crescimento vegetal e na indução de resistência sistêmica das plantas contra estresses bióticos causados por patógenos.

Considerando a clorofila como um importante indicador de adaptabilidade e crescimento das plantas em diferentes ambientes, e por sua influência direta na produtividade, era esperado que as plantas submetidas aos tratamentos 2 (*Pseudomonas*) e 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*) apresentassem os maiores teores de clorofila total em comparação aos demais tratamentos. No entanto, os resultados demonstraram que não houve diferenças significativas nos valores de clorofila total entre os tratamentos, o que refletiu na ausência de incrementos significativos na produtividade dos feijoeiros. Foi observado, inclusive, valores de produtividade inferiores aos controles nos tratamentos 5 (*Bacillus* + *Pseudomonas*) e 6 (*Pseudomonas* + *Klebsiella*).

Cordeiro (2019) relatou resultados semelhantes, onde a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal não promoveu aumentos significativos na produtividade do milho. Lobo (2018) também evidenciou que a inoculação de milho em condições de casa de vegetação com BPCV não resultou em teores elevados de clorofila, o que, por consequência, não favoreceu a produtividade.

Costa *et al.* (2019) destacaram que o teor de clorofila nas folhas é amplamente utilizado como um indicador do nível nutricional de nitrogênio (N) nas plantas, devido ao fato da quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com teor foliar de N. Assim, a ausência de incrementos na produtividade pode estar relacionada à ineficiência dos microrganismos em fixar nitrogênio no solo ou até mesmo na condição em que aquele ambiente oferece para os microrganismos limitar sua atividade. Além disso, Cordeiro (2019) sugeriu que uma estratégia potencial para melhorar a produtividade em resposta à inoculação com BPCV seria a aplicação de doses complementares de nitrogênio durante os estágios de desenvolvimento da planta.

6. CONCLUSÕES

A inoculação de isolados de *Pseudomonas* nas sementes promoveu melhorias significativas tanto na porcentagem de germinação quanto no índice de velocidade de germinação. Além disso, a cepa de *Pseudomonas* e o consórcio com *Klebsiella* resultaram em incrementos significativos na massa fresca e seca total das plantas submetidas a esses tratamentos. No entanto, as plantas submetidas à inoculação com *Klebsiella* demonstraram os menores índices de massa analisados, quando comparado aos tratamentos de controle.

Nenhum dos isolados bacterianos, seja individualmente ou em associação, mostrou efeito significativo no aumento da produtividade quando comparados aos tratamentos de controle.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAND, Uttpal *et al.* Current scenario and future prospects of endophytic microbes: promising candidates for abiotic and biotic stress management for agricultural and environmental sustainability. **Microbial ecology**, v. 86, n. 3, p. 1455-1486, 2023.

BOTELHO, Gloria Regina; MENDONÇA-HAGLER, Leda Cristina. *Fluorescent Pseudomonads* associated with the rhizosphere of crops: an overview. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 401-416, 2006.

BUCHELT, Antonio Carlos *et al.* Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019.

BUENO, Adriana Mesquita Corrêa; TORRES, Danielle Alencar Parente. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da agenda 2030 e bioeconomia: oportunidades e potencialidades para atuação da Embrapa**. 2022.

CALVO, Pamela; NELSON, Louise; KLOEPPER, Joseph W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and soil**, v. 383, p. 3-41, 2014.

CARBONELL, Sérgio Augusto Moraes; CHIORATO, Alisson Fernando; BEZERRA, Luiza Maria Capanema. A planta e o grão do feijão e as formas de apresentação aos consumidores. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**, p. 101-116, 2021.

MELO, Leonardo Cunha *et al.* **Técnico Comunicado BRS FC104: Cultivar de Feijão-Comum Carioca Superprecoce**. [s.l: s.n.], 2017.

CARNEIRO, Joel Camilo Souza *et al.* Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 25, p. 18-24, 2005.

CERQUEIRA, Wilza *et al.* Influência de bactérias do gênero *Bacillus* sobre o crescimento de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 20, 2015.

CHAGAS JUNIOR, Aloisio Freitas *et al.* *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 0001–0016, 2022.

COELHO, Jackson Dantas. **Feijão: produção e mercados**. 2021.

COELHO, Lucas Gabriel Ferreira *et al.* **A inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal**. 2021.

CORDEIRO, Jaíza Ellen Borges. **Desempenho agrônômico do milho em resposta à inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas**. 2017.

CORREIA, Andreza de Jesus. **Eficiência simbiótica de bactérias diazotróficas isoladas de solos com histórico de deposição de manipueira em feijão-caupi cultivar epace 10**. 2017

COSTA, Gabriel Aubry Porto *et al.* Melhoramento genético do feijão comum: origem, diversidade e qualidade das sementes. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 10, p. e8659-e8659, 2024.

COSTA, Letícia Carolina *et al.* Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 126-132, 2019.

ELNAHAL, Ahmed Said Mohammed *et al.* The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. **European Journal of Plant Pathology**, v. 162, n. 4, p. 759-792, 2022.

FERREIRA, Carlos Magri *et al.* **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. 2021.

FERREIRA, Sila Mary Rodrigues; NALEPA, Kelly Caroline. Avaliação da qualidade do feijão preto. DEMETRA: **Alimentação, Nutrição & Saúde**, v. 8, n. 2, p. 115-124, 2013.

FERREIRA, Thiago Costa; BETTIOL, Wagner. Biocontrole de patógenos de solo e promoção de crescimento vegetal promovidos por *Bacillus* spp. em milho. **BIOFARM-Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 15, n. 4, p. 337-356, 2019.

GLICK, Bernard. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological research**, v. 169, n. 1, p. 30-39, 2014.

GÓMEZ, Liz Evelyn Grimaldi. **Efeito da inoculação da levedura *Torulaspora globosa* e da bactéria *Bacillus subtilis* no desenvolvimento inicial de plantas de milho**. 2024.

GUIMARÃES, Vandeir Francisco *et al.* **Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações**. **Ciências Agrárias: Ética Do Cuidado, Legislação e Tecnologia Na Agropecuária**. Centro de Ciências Agrárias/Unioeste, Marechal Candido Rondon, p. 193-212, 2017.

JUNGES, Emanuele *et al.* Effect of priming and seed-coating when associated with *Bacillus subtilis* in maize seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 520-526, 2013.

KARAVIDAS, Ioannis *et al.* Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): a systematic review. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 271, 2022.

LOBO, Laiana Lana Bentes. **Potencial de bactérias endofíticas na promoção do crescimento em plantas de milho**. 2018.

MARTINS, Adriana Ferreira *et al.* Influência da inoculação de rizóbios sobre a germinação e o vigor de plântulas de cornichão e azevém. **Revista AGROTEC**, v. 36, n. 1, p. 294-302, 2015.

MARTINS, Roberta Cristina Ruedas. **Respostas de calos de cana-de-açúcar na interação com bactérias diazotróficas endofíticas**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, Carlos Alberto Barbosa *et al.* **Fome zero e agricultura sustentável: contribuições da Embrapa**. 2018.

MIGUEL, Paulo Sérgio Balbino *et al.* Bactérias endofíticas: Colonização, benefícios e identificação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 8777-8791, 2021.

MONNERAT, Rose *et al.* **Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura**. 2020.

OLIVEIRA, Gilmara Martins de; WANDER, Alcido Elenor. Mapeamento da cadeia produtiva do feijão-comum no Brasil. **Revista Economia Política do Desenvolvimento**, v. 14, n. 32, p. 96-122, 2023.

OLIVEIRA, Luciene Fróes Camarano de *et al.* **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. 2018.

PAIVA, Christiane Abreu de Oliveira *et al.* **Inoculantes de microrganismos promotores de crescimento em milho: transferindo a diversidade do laboratório para o campo**. 2018.

PAIVA, Christiane Abreu de Oliveira *et al.* **Microrganismos promotores de crescimento vegetal em cana-de-açúcar e outras gramíneas**. 2024.

PIRES, Christiano Vieira *et al.* Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição, Araraquara**, v. 16, n. 2, p. 157-162, 2005.

PRASAD, Andhare; BABU, Subramanian. Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 02, p. 1027-1040, 2017.

RAMOS, Nilcéia de Veiga. **Caracterização genética da resistência aos β -lactâmicos e taxonomia de isolados do gênero *Klebsiella***. 2014.

RONKO, Letícia Zander *et al.* Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 1, 2021.

RUIZ-HERNANDEZ, Itan Homero; MADRIGAL-PEREZ, Luis Alberto; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, Juan Carlos. The potential use of *Pseudomonas* in terrestrial and space agriculture. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e282664, 2024.

SANDINI, Itacir Eloi *et al.* Bacterial consortium of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* on the stimulation of growth of corn culture. **Ciência Rural**, v. 54, n. 9, p. e20230123, 2024.

SANTOS, Fernando André; LIMA, Antonio. Características produtivas de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no município de Cáceres-MT. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 11, n. 21, 2015.

SILVA, André Silas Lima *et al.* **Promoção de crescimento em milho pela inoculação e coinoculação de *Azospirillum*, *Bacillus* E *Pseudomonas***. 2022.

SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista da; SILVA, Maria Sonia Lopes; CAVALCANTI, Antonio Cabral. **Descrição das principais classes de solos**. 2006.

SILVA, Osmira Fátima da; WANDER, Alcido Elenor. **O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro**. 2013.

SILVA, Thaise Rosa da *et al.* **Caracterização molecular e capacidade de promoção do crescimento vegetal de bactérias diazotróficas isoladas do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 2017.

SOARES, Vanessa Nogueira. **Potencial fisiológico de sementes de arroz tratadas com rizobactérias ou tiametoxam**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

SOAVE, Júlia Marcelino. ***Bacillus* spp. e a promoção de crescimento vegetal: um enfoque na solubilização e mineralização de fosfato durante interação com cana-de-açúcar**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOUSA, Ana Carolina Aoki De. **Estudo da viabilidade econômica do uso de produtos biológicos na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2023.

STOETZER, Ferdinand. **Crescimento, produtividade e qualidade pós-colheita de cultivares de feijão comum em diferentes densidades de semeadura em ambiente de alta produtividade**. 2020.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. (6° ed.) [s.l.] ArtMed, 2017.

TOLEDO, Taís Carolina Franqueira de; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 355-360, 2008.

VIEIRA, Rosana Faria. *et al.* **Bactérias promotoras de crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2015.