

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**RIZOBACTÉRIAS NO CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E
QUALIDADE DE MUDAS DE JACARANDÁ-CAROBA**

ANDRÉ CATURELLI BRAGA

Orientadora: Profa. Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta

**Coorientadores: Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo
Dr. Carlos Henrique Barbosa Santos**

**Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA.**

**JABOTICABAL – SP
1º Semestre / 2024**

B813r

Braga, André Caturelli

Rizobactérias no crescimento, desenvolvimento e qualidade de mudas de Jacarandá-Caroba / André Caturelli Braga. -- Jaboticabal, 2024

17 f. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Kathia Fernandes Lopes Pivetta

Coorientador: Everlon Cid Rigobelo

1. Árvores. 2. Mudas de árvores. 3. Plantas ornamentais. 4. Bactéria. 5. Rizosfera. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: PRODUÇÃO VEGETAL

CERTIFICADO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Rizobactérias no crescimento e no desenvolvimento de mudas de jaracarándá-caroba

ACADÊMICO: André Caturelli Braga

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADORA: Profa. Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta

COORIENTADORES: Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo
Dr. Carlos Henrique Barbosa Santos

PERÍODO Mês/Ano a Mês/Ano:
Janeiro/2022 Junho/2024

APROVADA

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. ☐ Sim ☒ Não

BANCA EXAMINADORA:
(Nomes)

Presidente: Profa. Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta



Documento assinado digitalmente
KATHIA FERNANDES LOPES PIVETTA
Data: 05/07/2024 13:03:44-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Ms. Antonio Maricélio Borges de Souza



Documento assinado digitalmente
ANTONIO MARICÉLIO BORGES DE SOUZA
Data: 04/07/2024 18:30:22-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Dr. Thiago Souza Campos



Documento assinado digitalmente
THIAGO SOUZA CAMPOS
Data: 05/07/2024 10:15:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Jaboticabal 04 / 07 / 2024.

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 12/07/2024

Profa. Dra. Cibeale Chalita Martins
Chefe do Depto. de Produção Vegetal
UNESP

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor (Processo 9627) e bolsa de produtividade em pesquisa do último autor (Processos 310500/2018-4 e 317010/2021-2).

ÍNDICE

1. RESUMO ... pág VI
2. SUMMARY ... pág VIII
3. INTRODUÇÃO ... pág 1
4. MATERIAIS E MÉTODOS ... pág 4
5. RESULTADOS ... pág 8
6. DISCUSSÃO ... pág 12
7. CONCLUSÃO ... pág 17
8. REFERÊNCIAS ... pág 17

Rizobactérias no crescimento, desenvolvimento e qualidade de mudas de jacarandá-caroba¹

RESUMO

Nos últimos anos, as rizobactérias têm emergido como protagonistas na evolução da produção sustentável de diversas espécies vegetais, visto que a interação entre ambas resulta em benefícios mútuos. *Jacaranda brasiliana* (Lam.) Pers., conhecida popularmente como jacarandá-caroba ou jacarandá-boca-de-sapo, é uma espécie arbórea nativa e endêmica, utilizada no reflorestamento e no paisagismo, com exuberante floração, exibindo em suas inflorescências flores roxas a azuladas. O objetivo do estudo foi avaliar a interação de algumas espécies de rizobactérias no crescimento, desenvolvimento e na qualidade das mudas de *J. brasiliana*. O experimento foi conduzido utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado; foram seis tratamentos (1. ausência de microrganismos - controle; 2. *Azospirillum brasilense*; 3. *Bacillus amyloliquefaciens*; 4. *Bacillus megaterium*; 5. *Bacillus pumilus*; 6. *Bacillus subtilis*), quatro repetições e dez plantas por parcela. Foram realizadas três inoculações das rizobactérias durante a condução do experimento; a primeira, logo após a semeadura e duas reaplicações a cada 15 dias, por meio da aplicação de 1 mL da solução no

¹ Artigo a ser enviado para a Revista Emirates Journal of Food and Agriculture

substrato; as mudas destinadas ao tratamento controle não foram inoculadas. Foram avaliados parâmetros de crescimento, desenvolvimento e qualidade das mudas, bem como, a quantidade de bactérias no substrato. Conclui-se que a inoculação das rizobactérias *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* é benéfica para a produção de mudas de jacarandá-caroba, pois proporcionaram maior crescimento, desenvolvimento e qualidade das mudas, podendo ser utilizadas como promotoras de crescimento para esta espécie em fase de viveiro.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Jacaranda brasiliana*.

Rhizobacteria in the growth, development and quality of rosewood seedlings

SUMMARY

In recent years, rhizobacteria have emerged as protagonists in the evolution of sustainable production of several plant species, as the interaction between them results in mutual benefits. *Jacaranda brasiliana* (Lam.) Pers., popularly known as rosewood, is a native and endemic tree species, used in reforestation and landscaping, with exuberant flowering, displaying purple to bluish flowers in its inflorescences. The objective of the study was to evaluate the interaction of some species of rhizobacteria on the growth, development and quality of *J. brasiliana* seedlings. The experiment was conducted using a completely randomized experimental design; there were six treatments (1. absence of microorganisms - control; 2. *Azospirillum brasilense*; 3. *Bacillus amyloliquefaciens*; 4. *Bacillus megaterium*; 5. *Bacillus pumilus*; 6. *Bacillus subtilis*), four replications and ten plants per plot. Three inoculations of rhizobacteria were carried out during the experiment; the first, right after sowing and two reapplications every 15 days, by applying 1 mL of the solution to the substrate; the seedlings destined for the control treatment were not inoculated. Growth, development and quality parameters of the seedlings were evaluated, as well as the quantity of bacteria in the substrate. It is concluded that the inoculation of the rhizobacteria *B. amyloliquefaciens* and *B. subtilis* is beneficial

for the production of rosewood seedlings, as they provided greater growth, development and quality of the seedlings, and can be used as growth promoters for this species during nursery.

Keywords: *Azospirillum brasilense*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Jacaranda brasiliana*.

INTRODUÇÃO

Nativa do Brasil, a espécie *Jacaranda brasiliana* (Lam.) Pers., popularmente conhecida como jacarandá-caroba e jacarandá-boca-de-sapo, pertence à família Bignoniaceae, é endêmica, ocorrendo em vários Estados, em cerrados e campos cerrados do Brasil Central. Apresenta 4 a 11 m de altura, folhas bipinadas, inflorescências em panículas e flores com corola roxa a azulada. É extremamente ornamental quando em flor, podendo ser usada com sucesso no paisagismo, florescendo exuberantemente durante os meses de agosto e setembro, com as plantas totalmente despidas de sua folhagem (Lorenzi 2016; Johanes et al. 2022).

Para o desenvolvimento de plantas vigorosas após o plantio, é importante a produção de mudas de alta qualidade, que podem ser obtidas com o uso de rizobactérias (Campos et al. 2024), que são bactérias que interagem positivamente com as plantas sendo categorizadas como rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP); essas bactérias possuem múltiplas características na promoção do crescimento de plantas, são localizadas na rizosfera ou na superfície da raiz e contribuem para o crescimento e o rendimento das plantas (Singh et al. 2019).

A bactéria *Azospirillum brasilense*, contribui para maior desenvolvimento das plantas através de diversos mecanismos como a síntese de substâncias promotoras de crescimento, como auxinas, giberelinas e citocininas, aumento

da atividade da enzima nitrato redutase, indução das resistências das plantas aos estresses abióticos e bióticos e a solubilização de fosfatos, além de fixar N² atmosférico (Fukami et al. 2018).

Algumas bactérias do gênero *Bacillus* são também solubilizantes de fosfato, estimulando o crescimento da planta por meio da nutrição aprimorada com P, aumenta a absorção de N, P, K e Fe. Além disso, tem potencial agente biológico contra doenças de plantas (Sansinenea 2019).

A rizobactéria *B. amyloliquefaciens* é uma das RPCP mais promissoras para uso na agricultura, com capacidade de melhorar a disponibilidade de nutrientes e minerais no solo; secretar fitohormônios e compostos orgânicos voláteis associados com o desenvolvimento celular vegetal e crescimento de raízes; pode também aprimorar a resistência das plantas aos estresses bióticos causados por patógenos de solo e estresses abióticos (Luo et al. 2022).

Caracterizado pela capacidade de promover o crescimento de plantas em condições normais ou adversas, *B. megaterium* apresenta características antagônicas à patógenos, capacidade de solubilizar o fósforo e aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, também participando da biossíntese de fitohormônios como auxina e citocininas e modulação de poliaminas (Nascimento et al. 2020).

Já *B. pumilus* é considerada uma alternativa para fertilização convencional, pois produz uma ampla gama de fitohormônios e outras substâncias que promovem o crescimento das plantas, podendo, portanto,

afetar diversas propriedades das plantas, incluindo características biométricas, conteúdo de substâncias e enzimas oxidativas (Dobrzyński et al. 2022).

A rizobactéria *B. subtilis* é capaz de solubilizar o fósforo no solo, elevar a fixação de nitrogênio, produzir sideróforos, que promovem o crescimento, além de possuir mecanismos de biocontrole para suprimir doenças causadas por patógenos (Hashem et al. 2019).

Resultados positivos em relação à promoção do crescimento e desenvolvimento de plantas, com diversas rizobactérias, têm sido relatados por vários autores como a inoculação com *A. brasilense* (Gonzalez et al. 2018; Kondo et al. 2024), *A. brasilense* e *B. subtilis* (Medeiros et al. 2023, Campos et al. 2024), *B. amyloliquefaciens* (Zhao et al. 2016; Rios et al. 2018; Gamez et al. 2019, Campos 2024) *B.megaterium* (Santos et al. 2021; Kondo et al. 2020), *B. pumilus* (Medeiros et al. 2023) e *B. subtilis* (Campos et al. 2023).

Baseado no exposto, objetivo do estudo foi avaliar a interação de algumas espécies de rizobactérias no crescimento, desenvolvimento e na qualidade das mudas da arbórea nativa *Jacaranda brasiliana*.

MATERIAIS E MÉTODOS

As sementes de *Jacaranda brasiliana* foram obtidas de matrizes existentes na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Câmpus de Jaboticabal-SP e o experimento foi realizado no Viveiro Experimental de Plantas Ornamentais e Florestais, no Laboratório de Sementes de Plantas Hortícolas e no Laboratório de Microbiologia do Solo, pertencentes ao Departamento de Produção Vegetal da UNESP/FCAV, que tem como coordenadas 21°15'2" latitude, 48°16'47", longitude e 600 metros de altitude. A classificação climática da região é subtropical do tipo Cwa - tropical úmido com inverno seco e verão chuvoso (André e Garcia 2015). Os dados climáticos referentes à temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média e umidade relativa do ar, durante o período do experimento (agosto a outubro de 2023), encontram-se na figura 1 (UNESP, 2024).

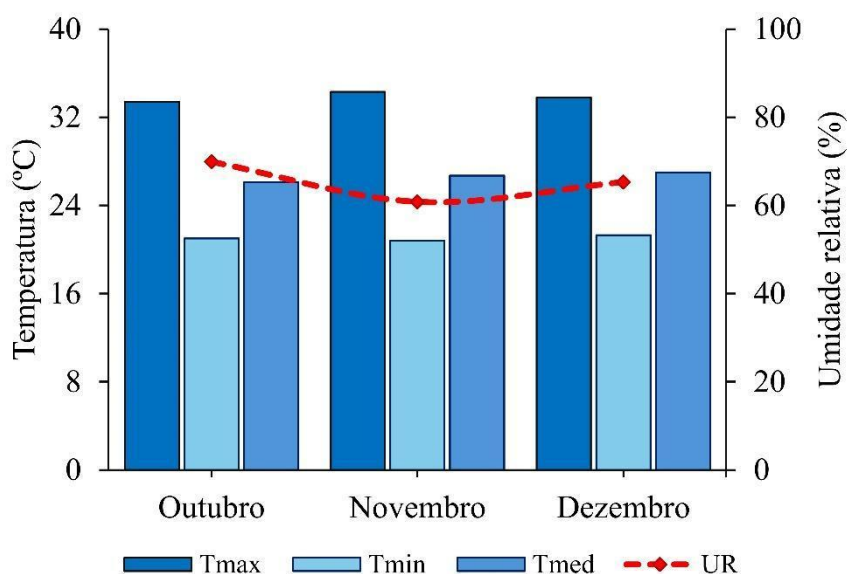


Figura 1. Dados climáticos durante o período de outubro a dezembro de 2023. Temperatura máxima - T_{máx}, Temperatura mínima - T_{mín}, Temperatura média - T_{med} e Umidade relativa do ar - UR (UNESP, 2024).

O experimento foi conduzido utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado; foram seis tratamentos (1. Ausência de microrganismos - controle; 2. *Azospirillum brasilense*; 3. *Bacillus amyloliquefaciens*; 4. *Bacillus megaterium*; 5. *Bacillus pumilus*; 6. *Bacillus subtilis*), quatro repetições e dez plantas por parcela.

As sementes de *J. brasiliiana* foram semeadas no dia 19 de outubro de 2023, em tubetes com capacidade volumétrica de 280 cm³, acondicionados em bandejas de polipropileno com capacidade para 54 recipientes, contendo como substrato comercial Carolina Soil®, composto por turfa, vermiculita, casca de arroz torrefada, calcário dolomítico calcinado, fertilizante NPK (14-16-18) e micronutrientes (informações obtidas a partir de dados existentes na embalagem). As bandejas foram mantidas suspensas em bancadas de malhas metálicas a 70 cm do solo, em casa de vegetação coberta e com as laterais protegidas com tela preta que permite a passagem de 50% da luz e, ainda, com cobertura de plástico transparente acima da cobertura de tela.

Foram distribuídas três sementes por tubete e, após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma plântula por recipiente, utilizando-se como critério a plântula de maior vigor e mais centralizada. A irrigação das mudas se deu por meio de microaspersores acionados

automaticamente, três vezes ao dia, com duração de 15 min cada com vazão de 30 L h⁻¹.

Os microrganismos foram produzidos separadamente, em meio de caldo nutritivo, por sete dias em frascos mantidos em B.O.D. (Eletrolab, modelo 347 F, Brasil), à temperatura de 25 °C. Terminado o período de incubação, os microrganismos foram centrifugados separadamente a 10.000 rpm durante 10 min a 28 °C (Novatecnica, modelo MLW K24, Brasil). A concentração do inóculo foi padronizada conforme recomendação de Barry e Thornsberry (1991) e Sahm e Washington II (1991) em 1 x 10⁷ UFC mL⁻¹ com auxílio de espectrofotômetro (Micronal, modelo B382, Brasil) na absorbância de 695 nm. Foram realizadas três inoculações das rizobactérias durante a condução do experimento; a primeira foi realizada logo após a semeadura e foram realizadas duas reaplicações a cada 15 dias (03 e 17 de novembro de 2023), por meio da aplicação de 1 mL da solução no substrato, no centro do tubete, com o auxílio de micropipeta mecânica (VF-1000, Digipet®). As mudas destinadas ao tratamento controle não foram inoculadas.

A avaliação foi realizada 47 dias após a semeadura, no dia 05 de dezembro de 2023, quando as raízes começaram a aparecer na base inferior dos tubetes. As mudas foram retiradas dos recipientes e feita lavagem das raízes para retirada do substrato. Em laboratório avaliou-se: comprimento da parte aérea - CPA (cm), obtida a partir no nível do substrato até o ápice da última folha e comprimento do sistema radicular (cm), ambos obtidos com o auxílio de régua milimetrada; diâmetro do colo - DC (mm), determinado ao nível

do substrato, com uso de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Western® PRO DC-6); número de folhas - NF; área foliar – AF (cm²), utilizando medidor eletrônico de área foliar (marca LI-COR®, modelo 3100); massa seca da parte aérea - MSPA e das raízes - MSR (g planta⁻¹), obtidas após a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, sendo posteriormente pesadas em balança de precisão (0,001g). Foi calculada a massa seca total – MST (g planta⁻¹) pela soma da MSPA e MSR.

Foi determinado, também, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), obtido pela fórmula proposta por Dickson em 1960, aplicada em várias pesquisas, como descrita em Souza et al. (2022), onde:
$$IQD = \frac{MST \text{ (g)}}{[CPA \text{ (cm)} / DC \text{ (mm)} + MSPA \text{ (g)} / MSR \text{ (g)}]}$$

Foi realizada, ainda, a contagem de bactérias no substrato, nos tratamentos onde se realizou a aplicação dos microrganismos. A contagem de bactérias presentes no substrato fora realizada em dez gramas, adicionados a um frasco Erlenmeyer contendo 95 mL de solução salina de pirofosfato de sódio 0,1%. Todos os frascos Erlenmeyer foram agitados por 1 h, do conteúdo dos frascos foram preparadas diluições em série seguindo a metodologia proposta por Wollum (1983). Cem microlitros (100 µL) das soluções obtidas por diluição foram inoculadas em placas de Petri contendo meio ágar nutriente ou ágar batata dextrose em triplicata. Após, as placas foram mantidas em estufa BOD a 30 °C e o número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) contado após 24, 48 e 72 horas (Vieira e Nahas 2005).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o Software AgroEstat (Barbosa e Maldonado Junior 2015). Realizou-se, ainda, análise de correlação de Person entre as variáveis, a fim de explicar quais variáveis possuem influência sobre a outra em fase de viveiro.

RESULTADOS

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos referentes ao comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raízes (CR), massa seca de raízes (MSR) e a razão entre a massa seca da parte aérea e de raízes (MSPA/MSR) (Tabela 1).

Analisando a tabela 1, observa-se para o diâmetro do colo (DC) que os tratamentos com *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* se destacaram promovendo as maiores médias (1,56 e 1,54 mm, respectivamente), porém diferiram apenas dos tratamentos com inoculação de *B. megaterium* e *B. pumilus*, que por sua vez proporcionaram as menores médias (1,18 e 1,28 mm, respectivamente).

Para número de folhas (NF), se destacaram com maiores médias os tratamentos onde foram inoculadas as bactérias *B. amyloliquefaciens* (11,93) e *B. megaterium* (12,00), que diferiram apenas do controle que apresentou menor média dentre todos os tratamentos (9,70) (Tabela 1).

Na análise da área foliar (AF), a rizobactéria *B. amyloliquefaciens* se destacou apresentando média mais elevada (9,93 cm²), já o controle, *B.*

megaterium e *B. pumilus* apresentaram as menores médias (6,21, 4,81 e 5,80 cm², respectivamente) em relação aos demais tratamentos (Tabela 1).

Para massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) observa-se resultados superiores para *B. subtilis* (0,09509 e 0,13965 g planta⁻¹, respectivamente), porém diferiu apenas da rizobactéria *B. megaterium* que obteve as menores médias dentre os tratamentos (0,06623 e 0,09757 g planta⁻¹, respectivamente) (Tabela 1).

Quanto ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD), maiores médias foram observadas nos tratamentos com *B. amyloliquefaciens* (0,02172) e *B. subtilis* (0,02337), que diferiram apenas dos valores obtidos por *B. megaterium* que apresentou a menor média (0,01455) (Tabela 1).

Tratamentos	CPA (cm)	DC (mm)	NF	AF (cm ²)	CR (cm)
Controle	5,12 a	1,32 ab	9,70 b	6,21 b	18,23 a
<i>Azospirillum brasilense</i>	5,83 a	1,42 ab	11,65 ab	7,82 ab	19,49 a
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	6,00 a	1,56 a	11,93 a	9,93 a	19,70 a
<i>Bacillus megaterium</i>	5,21 a	1,18 b	12,00 a	4,81 b	19,66 a
<i>Bacillus pumilus</i>	5,28 a	1,28 b	10,83 ab	5,80 b	18,66 a
<i>Bacillus subtilis</i>	5,70 a	1,54 a	10,75 ab	6,89 ab	18,81 a
CV (%)	8,63	8,25	7,79	21,51	8,27
	MSR (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)	MST (g planta ⁻¹)	MSPA/MSR	IQD
Controle	0,0338 a	0,0716 ab	0,1053 ab	2,1701 a	0,0173 ab
<i>Azospirillum brasilense</i>	0,0432 a	0,0850 ab	0,1282 ab	2,0027 a	0,0208 ab
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0,0426 a	0,0898 ab	0,1323 ab	2,1379 a	0,0217 a
<i>Bacillus megaterium</i>	0,0315 a	0,0662 b	0,0976 b	2,1168 a	0,0146 b
<i>Bacillus pumilus</i>	0,0359 a	0,0820 ab	0,1180 ab	2,3768 a	0,0180 ab
<i>Bacillus subtilis</i>	0,0446 a	0,0951 a	0,1397 a	2,2210 a	0,0234 a
CV (%)	21,36	14, 51	14,82	19,12	14,70

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

Tabela 1. Comprimento da parte aérea (CPA), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), comprimento de raízes (CR), massa seca de raízes (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), razão entre massa seca da parte aérea e massa seca de raízes (MSPA/MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de jacarandá-caroba (*Jacaranda brasiliana*) tratadas ou não (controle) com as rizobactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis*. Jaboticabal, SP, 2024.

Fazendo uma análise geral, observa-se que, para a maioria das características estudadas, as rizobactérias *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* foram as que apresentaram maiores médias enquanto *B. megaterium* se destacou com as menores médias (Tabela 1).

Não houve diferenças significativas no número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) no substrato das mudas que foram inoculadas (Figura 2).

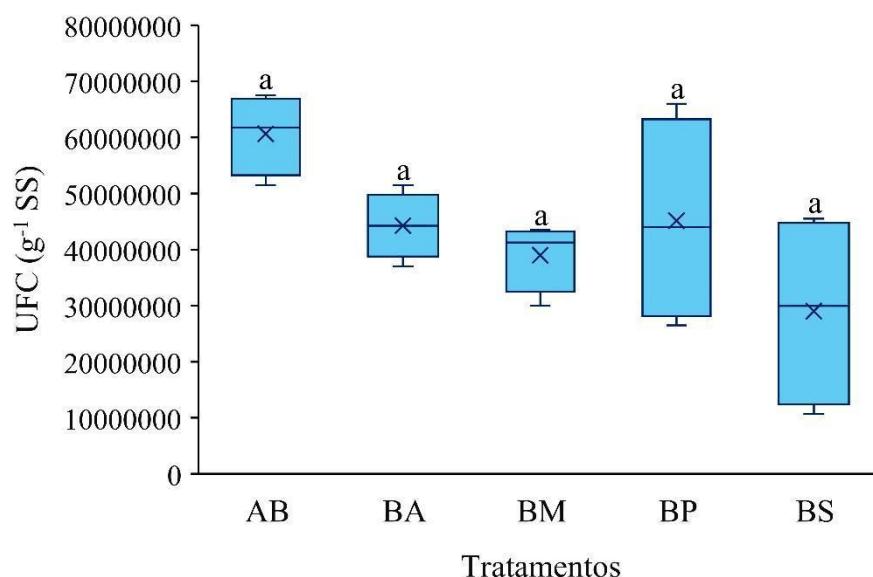
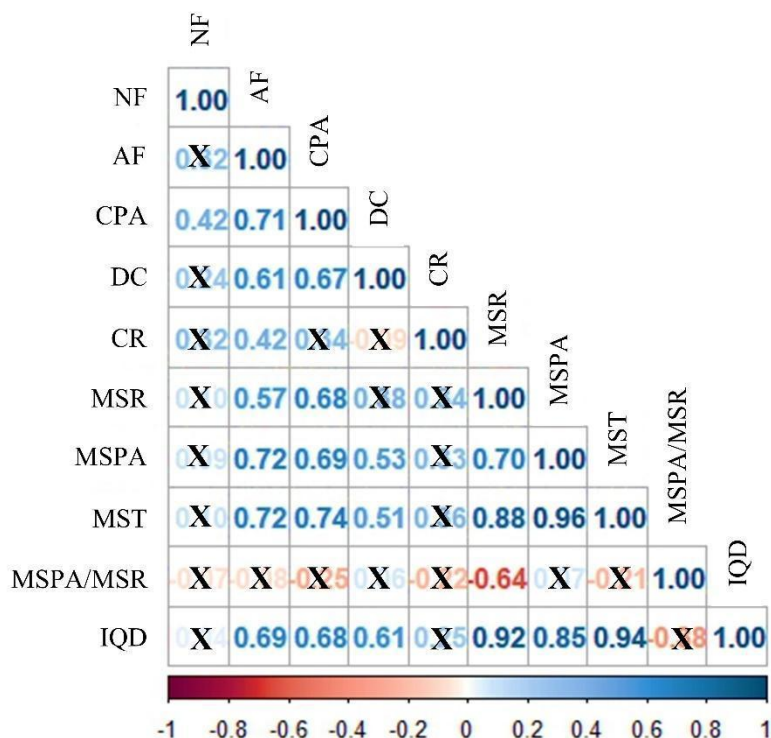


Figura 2. Contagem de bactérias (UFC) no substrato de mudas de jacarandá-caroba (*Jacaranda brasiliana*) tratadas com as rizobactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus*

megaterium, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis*. Jaboticabal, SP, 2024.

De acordo com a Matriz de correlação de Pearson (Figura 3), foram constatadas correlações significativas e positivas entre a maioria das variáveis analisadas, sendo verificada correlação negativa apenas entre a razão massa seca da parte aérea/massa seca de raízes (MSPA/MSR) e a massa seca de raízes ($r = -0,64$), ou seja, inversamente proporcional à razão MSPA/MSR. Para massa seca total, as variáveis massa seca de raízes ($r = 0,88$) e massa seca da parte aérea ($r = 0,96$) mostraram-se fortemente correlacionadas. Para o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), as variáveis que se encontram fortemente correlacionadas foram a massa seca da parte aérea ($r = 0,85$), massa seca de raízes ($r = 0,92$) e a massa seca total ($r = 0,94$).



Significativo a 5% de probabilidade. O “X” sobre os valores indica que não há correlação significativa entre as variáveis. Em que: NF = número de folhas; AF = área foliar; CPA = comprimento da parte aérea; DC = diâmetro do colo; CR = comprimento de raiz; MSR = massa seca de raízes; MSPA = massa seca da parte aérea; MST = massa seca total e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

Figura 3. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas das mudas de jacarandá-caroba (*Jacaranda brasiliana*) tratadas ou não (controle) com as rizobactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis*. Jaboticabal, SP, 2024.

DISCUSSÃO

As rizobactérias *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* foram as que apresentaram maiores médias para a maioria das características estudadas (Tabela 1), demonstrando que se associam bem com as mudas de jacarandá-caroba em fase de viveiro. Essas rizobactérias demonstraram maior eficiência em produzir fitormônios e enzimas, benéficos para o desenvolvimento das plantas (Mazzuchelli et al. 2014), favorecendo tanto o crescimento quanto a qualidade das mudas de jacarandá-caroba.

De modo semelhante aos resultados obtidos para o jacarandá-caroba, *B. amyloliquefaciens* também interferiu positivamente no crescimento de outras espécies vegetais como mudas de tomateiro (Szilagyi-Zecchin et al. 2015), milho e soja (Milléo et al. 2023) e mudas de ipê-amarelo (Campos et al. 2024) no entanto, promoveu menor crescimento e qualidade das mudas do açaizeiro (Campos et al. 2023), constando que os efeitos, benéficos ou não, são dependentes de diversos fatores, dentre eles a espécie vegetal.

A rizobactéria *B. subtilis* também se apresentou eficiente como promotora de crescimento de plantas para outras espécies vegetais, a exemplo, tomateiro, oca e espinafre africano (Adesemoye et al. 2008), mudas de açaizeiro (Castro et al. 2019, 2020; Campos et al. 2023) e ipê-roxo (Campos 2024). *B. subtilis* conta com a capacidade de formar endósporos resistentes ao calor e à dessecação, podendo ser mais versátil que as demais RPCP, visto que tais esporos permitem reter a viabilidade por longos períodos, seja no armazenamento, ou no solo (Adesemoye et al. 2008).

A inoculação com *B. megaterium* em mudas de jacarandá-caroba deixou a desejar já que apresentou médias inferiores para a maioria das características avaliadas (Tabela 1). Tal resultado pode ser devido à limitação do tubete, à temperatura que pode não ter sido ideal para esta bactéria e principalmente por não ter boa interação com a espécie vegetal estudada (Campos et al. 2023).

A resposta da inoculação de diferentes rizobactérias é, portanto, variável com a espécie vegetal (Campos 2024).

Considerando-se que o crescimento de plantas é definido como sendo o aumento irreversível em matéria e volume de células, tecidos e órgãos, a qualidade das mudas pode ser avaliada por meio de indicadores de crescimento, como a altura da parte aérea, o diâmetro do colo e a massa seca da parte aérea, de raízes e total. Além desses, vários índices são utilizados para avaliar a qualidade de lotes de mudas florestais, como o índice de qualidade de Dickson (Avelino et al. 2021).

Para comprimento da parte aérea, não houve diferenças entre os tratamentos, com médias variando entre 5,12 e 6,00 cm planta⁻¹, indicando que a inoculação das diferentes rizobactérias não provocaram efeito para esta característica (Tabela 1). Por sua vez, observou-se maiores médias de diâmetro do colo para *B. amyloliquefaciens* (1,56 mm) e *B. subtilis* (1,54 mm) que foram, respectivamente, 18% e 17% maiores que o controle (Tabela 1). O diâmetro do caule é uma avaliação primordial para analisar as condições de sobrevivência e crescimento de uma muda após o plantio (Souza et al. 2006); indicando, então, que as mudas inoculadas com *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* apresentam maior potencial de sucesso após o plantio.

Para as características relacionadas ao sistema radicular (comprimento e massa seca de raízes) não houve diferenças entre os tratamentos (Tabela 1) não sendo, portanto, características que definiriam a qualidade das mudas de jacarandá-caroba.

Observa-se que não houve diferenças entre os tratamentos também para a razão entre a massa seca da parte aérea e das raízes (Tabela 1). Essa razão entre a massa seca da parte aérea e das raízes é uma característica eficiente para a avaliação da qualidade de lotes de mudas florestais e que está diretamente relacionada com o estabelecimento no campo e na competitividade em condições de estresse abióticos (Grossnickle e Macdonald 2018; Avelino et al. 2021). Porém, mesmo não havendo diferenças entre os tratamentos para essa característica de avaliação da qualidade, o Índice de Qualidade de

Dickson mostrou a superioridade das mudas inoculadas com *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* (Tabela 1).

Os resultados obtidos para Índice de Qualidade de Dickson reforçam, então, a superioridade das mudas inoculadas com *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* (Tabela 1). Esse Índice de Qualidade de Dickson tem como base a relação entre diversos indicadores de crescimento para determinar a qualidade das mudas, ou seja, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total, comprimento da parte aérea e diâmetro do coleto. Por isso, a fórmula do Índice de Qualidade de Dickson evidencia o equilíbrio entre crescimento e potencial de sobrevivência das plantas no pós-plantio, pois, ao considerar várias características morfológicas, os possíveis erros que poderiam ser encontrados ao usar um ou dois indicadores serão minimizados. Assim, é um ótimo indicador da qualidade das mudas por incluir no seu cálculo a robustez e o equilíbrio da alocação da biomassa (Manãs et al. 2009; Avelino et al. 2021).

O Índice de Qualidade de Dickson, no entanto, é um índice que fornece valores variáveis influenciado por vários fatores, porém, tem sido utilizado como o principal indicador da qualidade de mudas florestais uma vez que apresenta altas correlações com a sobrevivência após o plantio no campo (Avelino et al. 2021). Trazzi et al. (2014) reforçam que maiores índices correspondem sim a melhores mudas.

Como não houve diferenças significativas no número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) no substrato das mudas que foram inoculadas

(Figura 2) e houve superioridade das rizobactérias *Bacillus amyloliquefaciens* e *B. subtilis* na maioria das características avaliadas, pode-se inferir que essas foram mais eficientes em promover o crescimento, desenvolvimento e qualidade das mudas de jacarandá-caroba.

O resultado encontrado para a correlação significativa e negativa entre a razão MSPA/MSR e MSR (Figura 3) é indicativo de uma associação inversa entre estas variáveis; dessa maneira, é possível inferir que a razão MSPA/MSR não é um bom indicativo de qualidade das mudas de jacarandá-caroba. Embora tenha sido constatado este acontecimento de correlação negativa, a MSR também se mostrou positivamente correlacionada com outras características como a massa seca da parte aérea, massa seca total e o Índice de Qualidade de Dickson. Essa variável (MSR), de acordo com Amorin et al. (2020), apresenta uma expressiva importância no desenvolvimento das plantas, pois, com maior formação de raízes, maior sua capacidade de crescimento e maior potencial de sobrevivência em campo.

A correlação significativa (Figura 3) entre o Índice de Qualidade de Dickson com as variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa das mudas é justificável, tendo em vista que tais características (MSR, MSPA e MST) são utilizadas em seu cálculo. Portanto, o IQD mostrou-se bom indicador de qualidade das mudas de jacarandá-caroba.

CONCLUSÃO

A inoculação das rizobactérias *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* é benéfica para a produção de mudas de jacarandá-caroba (*Jacaranda brasiliiana*), pois proporcionaram maior crescimento, desenvolvimento e qualidade das mudas, podendo ser utilizadas como promotores de crescimento para esta espécie em fase de viveiro.

REFERÊNCIAS

Adesemoye AO, Obini M, Ugoji EO (2008) Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. Brazilian Journal of Microbiology 39(3): 423–426.

Andre RGB, Garcia A (2015) Alguns aspectos climáticos do município de Jaboticabal – SP. Nucleus 12(2): 263-269.

Amorin RS, Faller BV, Oliveira IA, Jardim IN (2020) Root pruning and Osmocote® provides better Jatoba seedlings. Científica 48(1): 49-55. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n1p49-55>

Avelino NR, Schilling AC, Dalmolin ÂC, Santos MS, Mielke MS (2021) Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de

mudas de espécies florestais nativas. *Ciência Florestal* 31(4):1733-1750.
<https://doi.org/10.5902/1980509843229>

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2014) AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos - versão 1.1.0.711.

Barry AL, Thornsberry C (1991) Susceptibility tests: diffusion test procedures. In: Balows A, Hauser WJ, Hermann KL, Isenberg HD, Shamody HJ (eds) *Manual of clinical microbiology*. American Society for Microbiology, Washington DC, 1117-1125.

Campos TS (2024) Avanços tecnológicos na conservação de sementes e na produção de mudas de *Handroanthus* spp. PhD Thesis, Universidade Estadual Paulista – UNESP/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Jaboticabal, SP, Brasil.

Campos TS, Patricio MP, Vieira GR, Souza AMB, Santos CHB, Rigobelo EC, Pivetta KFL. (2023) Rhizobacteria in growth and quality of açai seedlings. *Ornamental Horticulture* 29(2): 210-217.
<https://doi.org/10.1590/2447-536X.v29i2.2596>

Campos TS, Vieira GR, Souza AMB, Santos CHB, Rigobelo EC, Pivetta KFL. (2024) Rhizobacteria increase the growth and quality of *Handroanthus*

chrysotrichus (Mart. ex DC) Mattos seedlings. Revista Árvore 48:e4814.
<https://dx.doi.org/10.53661/1806-9088202448263634>

Castro GLS, Rêgo MCF, Silvestre WVD, Batista TFV, Silva GB (2020) Açaí palm seedling growth promotion by rhizobacteria inoculation. Brazilian Journal of Microbiology 51(1), 205-216. <http://dx.doi.org/10.1007/s42770-019-00159-2>.

Castro GLS, Silva Júnior DD, Viana RG, Rêgo MCF, Silva GB (2019) Photosynthetic apparatus protection and drought effect mitigation in açaí palm seedlings by rhizobacteria. Acta Physiologiae Plantarum 41(9): 1-12.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11738-019-2952-4>.

Dobrzyński J, Jakubowska Z, Dybek B (2022) Potential of *Bacillus pumilus* to directly promote plant growth. Frontiers in Microbiology 13:1069053.

Fukami J, Cerezini P, Hungria M (2018) *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express 8(1): 1-12.

Gamez R, Cardinale M, Montes M, Ramirez S, Schnell S, Rodriguez F (2019) Screening, plant growth promotion and root colonization pattern of two rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens* Ps006 and *Bacillus amyloliquefaciens* Bs006) on banana cv. Williams (*Musa acuminata* Colla). Microbiological research, 220:12-20.

Gonzalez EJ, Hernandez JP, De-Bashan LE, Bashan Y (2018) Dry micro-polymeric inoculant of *Azospirillum brasilense* is useful for producing mesquite transplants for reforestation of degraded arid zones. *Applied Soil Ecology*, 29:84-93.

Grossnickle SC, Macdonald JE (2018) Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New forests*, 49(1): 1-34.

Hashem A, Tabassum B, Fathi ABD, Allah E (2019) *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26(6): 1291-1297.

Johanes I, Costa SL, Lohmann LG, Melo JIM (2022) Flora da Paraíba (Brasil): Aliança Tabebuia e Tribo Jacarandaeae (Bignoniaceae). *Lheringia* 77: e2022018.

Kondo YR, Cruz SP, Chanway C, Kaschuk G. (2024) Inoculation of *Azospirillum brasilense* or *Bacillus* spp. improves root growth and nutritional quality of araucaria (*Araucaria angustifolia*) seedlings. 35. Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4693232>

Kondo YR, Primon AP, Fioreze ACDCL, Cruz SPD (2020) Growth promotion of genetically improved *Pinus taeda* seedlings by inoculation with species of *Bacillus*. *Cerne* 26:456-462.

Lorenzi H (2016) Árvores brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas do Brasil. 5 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, vol. 2, 384 p.

Luo L, Zhao C, Wang E, Raza A, Yin C (2022) *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. *Microbiological Research* 259: 127016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127016>

Mañas P, Castro E, Las Heras J (2009) Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests* 37: 295-311. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4>

Mazzuchelli RDCL, Sossai BF, Araujo FF (2014) Inoculação de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. *Colloquium Agrariae* 10(2): 40-47. <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n2.a106>

Medeiros LB, Souza AMB, Vieira GR, Ferreira KB, Campos TS, Pivetta KFL, Rigobelo EC (2023) Growth-promoting microorganisms in the development of

orchid seedlings of *Phalaenopsis*, *Cymbidium* and *Dendrobium* genera. Bioscience Journal 39: e39092.

Milléo MVR, Pandolfo M, Santos DS, Soares CRFS, Moscardi ML (2023) Agronomic efficiency of an inoculant based on *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 for corn and soybean crops. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 18(1): e2844.

Nascimento FX, Hernández AG, Glick BR, Rossi MJ (2020) Plant growth-promoting activities and genomic analysis of the stress-resistant *Bacillus megaterium* STB1, a bacterium of agricultural and biotechnological interest. Biotechnology Reports 25: e00406. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00406>

Rios FA, Freitas SKR, Contiero RL, Braz GBP, Roman R, Belani RB, Catapan V (2018) Agronomic performance of soybean treated with *Bacillus amyloliquefaciens*. African Journal of Microbiology Research 12(45):1020-1027.

Sahm DF, Washington II JA (1991) Antibacterial susceptibility tests: dilution methods. In: Balows A, Hausler Júnior WJ, Herrmann KL, Isenberg HD. Manual of clinical microbiology. 5th ed. Washington, DC: American Society for Microbiology, 1384p.

Sansinenea E (2019) *Bacillus* spp.: as plant growth-promoting bacteria. In: Singh H, Keswani C, Reddy M, Sansinenea E, García-Estrada C (eds) Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms, Singapore: Springer, 225-237.

Santos AF, Corrêa BO, Klein J, Bono JAM, Pereira LC, Guimarães VF, Ferreira MB (2021) Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. Research, Society and Development 10(5): e53410515270.

Singh J, Singh P, Ray S, Rajput RS, Singh HB (2019) Plant growthpromoting rhizobacteria: Benign and useful substitute for mitigation of biotic and abiotic stresses. In: Sayyed R, Arora N, Reddy M Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management. Singapore: Springer. 81-101. DOI: 10.1007/978-981-13-6536-2_5.

Souza AMB, Chioda LB, Ferreira KB, Vieira GR, Campos TS, Pivetta KFL (2022) Initial growth of *Syagrus romanzoffiana* seedlings in biosolid-based substrate. Pesquisa Agropecuária Tropical 52: e70577. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632022v5270577>

Souza PA, Venturin N, Macedo RLG (2006) Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). Ciência Florestal 16(3): 261-270.
<http://dx.doi.org/10.5902/198050981907>

Szilagyi-Zecchin VJ, Mógor ÁF, Ruaro L, Röder C (2015) Crescimento de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) estimulado pela bactéria *Bacillus amyloliquefasciens* subsp. *plantarum* FZB42 em cultura orgânica. Revista de Ciências Agrárias 38(1): 26-33.

Trazzi PA, Caldeira MVW, Reis EFD, Silva AGD (2014) Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com bioossólido. Cerne 20: 293-302.
<http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021134>

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal; Dados estação convencional I - 2024 (<https://www.fcav.unesp.br/#!/estacao-agroclimatologica/dados/estacao-convencional/>).

Vieira FCS, Nahas E (2005) Comparison of microbial numbers in soils by using various culture media and temperatures. Microbiological Research 160(2): 197-202.

Wollum AG (1983) Cultural methods for soil microorganisms. In: Page AL. Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, p. 781-802.

Zhao Q, Wu YN, Fan Q, Han QQ, Paré PW, Xu R, Zhang, JL (2016) Improved growth and metabolite accumulation in *Codonopsis pilosula* (Franch.) Nannf. by inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens* GB03. Journal of Agricultural and Food Chemistry 64(43): 8103-8108.