



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA

BACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO VEGETAL
EM EUCALIPTO

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA FILHO

VITÓRIA DA CONQUISTABAHIA – BRASIL

2023

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA FILHO

BACTERIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO VEGETAL EM EUCALIPTO

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira

Coorientador: Prof Dr. Cristiano Tagliaferre

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA-BRASIL

2023

A444b Almeida Filho, Roger Luiz da Silva.

Bactérias promotoras do crescimento vegetal em eucalipto. /
Roger Luiz da Silva Almeida Filho, 2023.

107f.

Orientador (a): D.Sc. Joilson Silva Ferreira.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Área de concentração
Fitotecnia, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 81 – 106.

1. Eucalipto. 2. Promoção de crescimento. 3. Bactérias diazotróficas.
4. Fitormônios. I. Ferreira, Joilson Silva. II. Universidade Estadual do
Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Área de
concentração Fitotecnia. III. T.

CDD 634.973766

Catálogo na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia


Campus de Vitória da Conquista, BA


DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: "BACTERIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO VEGETAL EM EUCALIPTO".


AUTOR (A): Roger Luiz da Silva Almeida Filho


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:


Joilson Silva Ferreira, D.Sc. (UESB)


Cristiano Tagliaferre, D.Sc. (UESB)


Rayka Kristian Alves Santos, D.Sc. (UESB)


Gean Carlo Soares Capinam, D.Sc. (IFBAIANO - Valença)


Máida Cynthia Duca de Lima, D.Sc. (MC Consultoria)

Data de realização: 30 de Agosto de 2023.

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
Telefone: (77) 3425-9383, e-mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

Aos meus pais, Roger Luiz e Marta Suely.

A minha noiva, Maria Heloisa.

Ao meu irmão, Gustavo.

A minha Tia e madrinha, Mary.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus vivo, que me rege e me guarda todos os dias.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, pela contribuição na minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Dr. Joilson Silva Ferreira, pela oportunidade, confiança e orientação nesta pesquisa.

Ao prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, pelo acompanhamento, orientação e incentivo durante toda a pesquisa.

À Profa Dra Rayka, pelas sugestões e ideias na escrita dos artigos.

A todo o grupo de pesquisa do laboratório de Biotecnologia Florestal: Josi, Danilo, Maida e Bianca, pelo apoio e ajuda durante todo o trabalho.

À Edilma, Elisa, Alecia e Ana, alunas de iniciação científica que também fazem parte do laboratório de biotecnologia. Sem vocês, de jeito nenhum, eu conseguiria terminar. Não há palavras suficientes no mundo para agradecer o que vocês fizeram.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelos conhecimentos transmitidos. Aos colegas do Doutorado, pelo auxílio e colaboração.

A Dui, seu Manuel, e toda equipe da UESB que ajudou na montagem e manutenção do experimento em campo.

Em especial, à minha família, pelo apoio e compreensão ao longo dessa caminhada, que acreditaram e principalmente sonharam, junto comigo, na concretização dessa vitória.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e contribuírem com o presente estudo.

RESUMO GERAL

ALMEIDA FILHO, R. L. S. **Bactérias promotoras do Crescimento Vegetal em eucalipto.** Vitória da Conquista - BA, UESB, 2023. 106 p. (Tese: Doutorado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*.

O estresse hídrico causado pela escassez de água representa um desafio abiótico significativo que limita a produtividade de várias culturas, incluindo o eucalipto. Diante da necessidade de soluções inovadoras para enfrentar esse problema, este estudo destaca-se por explorar áreas de clima semiárido para o plantio de eucalipto. Além disso, o estudo aborda a limitação de informações sobre a adaptabilidade do eucalipto à seca, tornando a pesquisa essencial em um contexto de crescente risco de escassez hídrica. Assim, esses estudos investigaram a eficácia das Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs) como uma estratégia para aumentar a tolerância das plantas a diferentes comportamentos, principalmente ao estresse hídrico, e otimizar o crescimento do eucalipto. Foram feitos três trabalhos, cujos objetivos foram: 1) analisar os efeitos da inoculação de diferentes estirpes de bactérias promotoras do crescimento vegetal em mudas de eucalipto submetidas a diferentes regimes de irrigação; 2) avaliar o impacto do uso de diferentes BPCVs no crescimento de plantas de eucalipto em condições de campo; 3) avaliar a morfologia de mudas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. No primeiro trabalho, as mudas de *Eucalyptus urophylla* foram submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas com BPCVs; no segundo, que foi feito em campo, as mudas de *Eucalyptus cloeziana* receberam a inoculação de Bactérias promotoras de crescimento vegetal em uma época de grande quantidade de chuva; e no terceiro, também em campo, houve uma outra abordagem que se baseou na aplicação de BPCVs, evidenciando sua capacidade de estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob estresse hídrico. Os resultados do primeiro trabalho mostraram que a bactéria DNVC07 teve um bom desempenho, especialmente quando a irrigação correspondeu a 116% da capacidade de campo. No segundo, observou-se que os tratamentos inoculados foram superiores em relação a diversas características morfológicas; e, por fim, observou-se que a bactéria DNVC07 teve um impacto significativo no crescimento das raízes, especialmente quando a irrigação atingiu 90% da evapotranspiração. Em síntese, os resultados deste estudo destacam que a combinação de estresse hídrico, plantio de eucalipto e ação de BPCVs oferece abordagens promissoras. A inoculação com bactérias promotoras do crescimento demonstra ser uma estratégia valiosa para aprimorar a adaptação das plantas em condições adversas, otimizando o plantio de eucalipto de forma sustentável e melhorando sua produtividade.

Palavras-chave: Promoção de crescimento, Bactérias diazotróficas, fitormônios.

* **Orientador:** Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira, UESB e **Coorientador:** Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB.

GENERAL ABSTRACT

ALMEIDA FILHO, R. L. S. **Plant Growth Promoting Bacteria in eucalyptus**. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2023. 106 p. (Thesis: PhD in Agronomy; Area of Concentration: Plant Science)*.

Water stress caused by water scarcity poses a significant abiotic challenge that limits the productivity of several crops, including eucalyptus. Given the need for innovative solutions to face this problem, this study stands out for exploring areas of semi-arid climate for eucalyptus plantation. In addition, the study addresses the limitation of information on the adaptability of eucalyptus to drought, making research essential in a context of increasing risk of water scarcity. Thus, these studies investigated the efficacy of Plant Growth Promoting Bacteria (BPCVs) as a strategy to increase plant tolerance to different behaviors, especially water stress, and optimize eucalyptus growth. Three studies were carried out, whose objectives were: 1) to analyze the effects of inoculation of different strains of plant growth-promoting bacteria in eucalyptus seedlings submitted to different irrigation regimes; 2) evaluate the impact of the use of different GCPs on the growth of eucalyptus plants under field conditions; 3) to evaluate the morphology of *Eucalyptus cloeziana* seedlings subjected to different levels of water stress and inoculated with plant growth-promoting bacteria. In the first work, *Eucalyptus urophylla* seedlings were subjected to different levels of water stress and inoculated with BPCVs; in the second, which was carried out in the field, the seedlings of *Eucalyptus cloeziana* were inoculated with plant growth-promoting bacteria in a time of high amount of rainfall; and in the third, also in the field, there was another approach that was based on the application of BPCVs, evidencing their ability to stimulate the growth and development of plants under water stress. The results of the first study showed that the bacterium DNVC07 performed well, especially when irrigation corresponded to 116% of the field capacity. In the second, it was observed that the inoculated treatments were superior in relation to several morphological characteristics; and, finally, it was observed that the DNVC07 bacterium had a significant impact on root growth, especially when irrigation reached 90% of evapotranspiration. In summary, the results of this study highlight that the combination of water stress, eucalyptus plantation and the action of BPCVs offers promising approaches. Inoculation with growth-promoting bacteria proves to be a valuable strategy to improve the adaptation of plants to adverse conditions, optimizing eucalyptus planting in a sustainable way and improving their productivity.

Keywords: Growth promotion, Diazotrophic bacteria, phytohormones.

***Advisor:** Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira, UESB and **Coadvisor:** Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1 - Altura de plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> , clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140%, 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).....	25
Figura 1.2 - Massa seca das raízes de plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> , clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2023)	28
Figura 1.3 - Volume de raízes de plantas de <i>Eucalyptus urophylla</i> , clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2023).....	30
Figura 1.4 - Índice SPAD em <i>Eucalyptus urophylla</i> , clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2023).....	32
Figura 1.5 - Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais. Fonte: Almeida Filho (2023)	33
Figura 2.1 - Precipitação acumulada durante os meses de outubro a fevereiro, na cidade de Vitória da Conquista – Bahia. Fonte: INMET (2023).....	41
Figura 2.2 - Alturas de mudas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo. Fonte: Almeida Filho (2023).....	43
Figura 2.3 - Diâmetro de mudas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo. Fonte: Almeida Filho (2023).....	43
Figura 2.4 - Índice SPAD em <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo. Fonte: Almeida Filho (2023).....	44
Figura 2.5 - Número de folhas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo. Fonte: Almeida Filho (2023).....	44
Figura 2.6 - Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais. Fonte: Almeida Filho (2023)	47

Figura 3.1 - Precipitação acumulada durante os meses de outubro a fevereiro, na cidade de vitória da Conquista – Bahia. Fonte: INMET (2023).....	56
Figura 3.2 - Altura de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%,60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, (2023).....	59
Figura 3.3 - Alturas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%,60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho,(2023).....	60
Figura 3.4 - Diâmetro de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas à aplicação de BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, (2023).....	61
Figura 3.5 - Diâmetros de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023.....	62
Figura 3.6. Massa Fresca da Parte Aérea de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Roger Luiz da Silva Almeida Filho, 2023.....	63
Figura 3.7 - Massa Seca da Parte Aérea de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023.....	64
Figura 3.8 - Massa Fresca da Raiz de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023.	66
Figura 3.9 - Massa Seca da Raiz de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, (2023).....	67
Figura 3.10 - Massa Seca da Raiz de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023.	68
Figura 3.11 - Comprimento da Raiz principal de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, (2023).....	69
Figura 3.12 - Comprimento da raiz principal de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023.	71
Figura 3.13 - Volume de raiz de <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, (2023).....	74
Figura 3.14 - Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais. Fonte: Almeida Filho (2023). Fonte: Almeida Filho, (2023).	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Análise de variância (resumo) e coeficientes de variação (CV), altura de planta (Alt), diâmetro do colo (Dia), Número de folhas (Nº Folha), comprimento da raiz principal (COMP), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raiz (MSR), Volume da raiz (Vol), SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), em mudas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, produzidas sob diferentes regimes hídricos. Fonte: Almeida Filho (2022).....25

Tabela 1.2 - Altura (ALT) observada em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140%, 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).....26

Tabela 1.3 - Comprimento da raiz principal (cm) observado em plantas do clone AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidas à aplicação de Bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).....27

Tabela 1.4 - Massas secas da raiz (MSR) observadas em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022)2

9

Tabela 1.5 - Volume de raízes (cm³) observadas em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).....31

Tabela 2.1 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV), em relação à altura de planta (alt), diâmetro do colo (Dia), Número de folhas (Nº Folhas), e índice SPAD, em mudas de *Eucalyptus cloeziana*, produzidas sob diferentes bactérias promotoras do crescimento vegetal. Fonte: Almeida Filho (2023).....42

Tabela 3.1 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV), em relação à altura deplanta (alt), diâmetro do colo (Dia), Massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa fresca da Raiz (MFR), Massa seca da raiz (MSR), Volume da raiz (Vol), comprimento da raiz principal (COMP) e índice SPAD (SPAD), em mudas de *Eucalyptus cloeziana*, produzidas em campo e submetidas a diferentes regimes hídricos. Fonte: Almeida Filho, 2023..... 58

Tabela 3.2 - Volume (cm³) observado em clones AEC144, submetidas à aplicação de BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%. Fonte: Almeida Filho, 2023 72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AIA	Ácido indol-3-acético
Alt	Altura
BPCV	Bactérias promotoras do crescimento vegetal
Cm	Centímetro
cmol	Centimol de carga
CV	Coefficiente de Variação
COMP	Comprimento da raiz principal
Dia	Diâmetro
dm ³	Diâmetro cubico
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
DBC	Delineamento em blocos casualizado
DNVC22	Bactéria DNVC22
DNVC11	Bactéria DNVC11
DNVC07	Bactéria DNVC07
ETc	Evapotranspiração da Cultura
g	Gramas
Há	Hectares
JN32F	Bactéria JN32F
L	Litros
M	Metros
Mg	Miligramas
MI	Mililitros
mm	Milímetros
MFPA	Massa Fresca Parte Aérea
MSPA	Massa Seca Parte Aérea
MFR	Massa Fresca da Raiz
MSR	Massa Seca da Raiz
PCA	Análise Multivariada de Componentes Principais
R ²	Coefficiente de Determinação
DNSE04	Bactéria DNSE04
Spp.	Espécies
SPAD	Intensidade da coloração verde das folhas (<i>Soil Plant Analysis Development</i>)
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Vol	Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
3 ARTIGO I - Morfologia de mudas de eucalipto sob estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal	20
ABSTRACT	21
RESUMO	21
3.1 INTRODUÇÃO	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.4 CONCLUSÕES	48
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
4 ARTIGO II - Bactérias promotoras de crescimento vegetal nativas da Região Sudoeste da Bahia no desenvolvimento inicial de Eucalyptus cloeziana em condições de campo	53
ABSTRACT	54
RESUMO	54
4.1 INTRODUÇÃO	56
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	57
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.4 CONCLUSÕES	68
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
5 ARTIGO III - Potencial de Bactérias Promotoras do Crescimento em Eucalipto sob Estresse Hídrico em Campo	71
ABSTRACT	72
RESUMO	73
5.1 INTRODUÇÃO	74
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	76
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.4 CONCLUSÕES	102
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da demanda por energia e recursos naturais tem impulsionado a exploração de florestas no Brasil. O gênero eucalipto tem desempenhando um papel importante nesse contexto, atendendo à demanda por madeira com propriedades silviculturais específicas e ajudando a diminuir a pressão sobre as florestas nativas (Mafia et al., 2005).

Devido à sua versatilidade comercial e à sua rápida taxa de crescimento, o eucalipto, originário da Austrália e pertencente à família Myrtaceae, é amplamente cultivado em várias partes do mundo. Essa espécie arbórea contribui para a geração de energia renovável e é importante na indústria madeireira, na fabricação de papel e celulose.

Na Bahia, em 2019, quase um milhão de hectares foram ocupados pelos plantios de eucalipto, representando quase 8% da produção total do país (IBA, 2017). Para Araujo et al. (2011), a Bahia possui uma condição geoambiental marcante, por possuir semiaridez sazonal e uma alta variabilidade pluviométrica entre os períodos chuvosos, ocasionando seca em grande parte de sua extensão territorial. Esse estado ocasiona diretamente baixas disponibilidades de água, o que impacta negativamente nas culturas agrícolas e florestais, levando a situações de estresse hídrico cuja a produtividade é totalmente ou parcialmente impactada.

O setor de produção de mudas é fundamental para garantir a produtividade das florestas à medida que as florestas plantadas crescem. A qualidade das mudas é muito importante, especialmente nos primeiros meses após o plantio, quando as mudas estão em ambientes mais difíceis do que em viveiros florestais (Grossnickle, 2012).

Assim, é importante que as mudas sejam transferidas para o campo em condições de plantio ideais, que tenham um sistema radicular e parte aérea bem desenvolvidos para facilitar a fotossíntese, a absorção de água e nutrientes.

No entanto, o cultivo do eucalipto, que se inicia com a formação das mudas, enfrenta vários obstáculos, principalmente quando se trata de climas inadequados com escassez de água. Como a espécie precisa de uma quantidade de água razoável para crescer bem, cultivar eucalipto em locais secos é difícil. As condições climáticas desfavoráveis e a escassez de recursos hídricos colocam os produtores de eucalipto em dificuldades, reduzindo o crescimento e a produtividade das plantações. Além disso, as tecnologias disponíveis para aumentar a eficiência do uso da água e mitigar o estresse hídrico são

frequentemente caras e não estão disponíveis para muitos agricultores que vivem em áreas de clima semiárido.

Para melhorar o desempenho do eucalipto nessas circunstâncias, é importante encontrar estratégias sustentáveis e economicamente viáveis. Uma abordagem promissora é o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal. Essas bactérias têm sido amplamente estudadas e mostraram que podem promover o crescimento e proteger as plantas contra estresses abióticos, como o estresse hídrico.

As estirpes dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum* e *Paenibacillus* estão entre as bactérias que mais se destacam como promissoras no crescimento das plantas (Vieira, 2018). Esses gêneros são mais comumente conhecidos por fixar o nitrogênio atmosférico. Entretanto, elas não apenas realizam a fixação do nitrogênio atmosférico, mas também desempenham outras funções benéficas. Estudos anteriores têm comprovado a capacidade das bactérias promotoras de crescimento vegetal em melhorar a tolerância das plantas a estresses ambientais, como a seca (Chaín et al., 2020). Essas bactérias também atuam regulando hormônios vegetais (Hutsch & Schubert, 2017; Etesami & Maheshwari, 2018), o que aumenta a capacidade de absorção de nutrientes e fortalece o desenvolvimento do vegetal.

O gênero *Azospirillum*, por exemplo, é conhecido por sua capacidade de colonizar preferencialmente o rizoplane e a rizosfera de plantas. Essa preferência ocorre devido ao acúmulo de uma variedade de compostos orgânicos liberados pelas raízes por exsudação, secreção e deposição (Dobbelaere et al., 2003). Essas bactérias são classificadas como endófitas facultativas ou de vida livre.

Por outro lado, existem bactérias que colonizam preferencialmente os tecidos vegetais internos e são denominados endófitos obrigatórios. Exemplos dessas bactérias incluem *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* spp., *Azoarcus* spp. e *Burkholderia* spp. Essas bactérias geralmente possuem um espectro restrito de plantas hospedeiras (Baldani et al., 1997). No entanto, elas desempenham um papel importante no desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas, aumentando a absorção de água e minerais e conferindo maior tolerância a estresses abióticos, como salinidade e seca (Roscoe & Miranda, 2013).

Há diversos estudos na literatura que apontam que, ao colonizarem as raízes das plantas e formarem uma associação benéfica, as bactérias promotoras do crescimento vegetal promovem o crescimento das plantas e estimulam processos fisiológicos que auxiliam na absorção de nutrientes e no desenvolvimento (Raasch et al., 2013; Miguel

et al., 2016; Bettencourt et al., 2021). Esses resultados indicam o potencial promissor dessas bactérias como uma estratégia sustentável para atenuar os efeitos negativos do estresse ambiental nas plantas de eucalipto e melhorar sua adaptação a diferentes condições de cultivo.

O uso de bactérias que promovem o crescimento vegetal pode ser uma abordagem eficaz no cultivo de eucalipto para enfrentar os problemas causados pelo estresse hídrico em áreas secas. A

utilização dessas bactérias pode aumentar a eficiência do uso da água, estimular o crescimento das plantas e melhorar sua resistência aos estresses abióticos. Isso aumenta os rendimentos e a sustentabilidade da produção de eucalipto.

Além disso, é fundamental que pequenos e médios produtores adotem essas estratégias por meio da utilização de tecnologias de baixo custo, especialmente em locais com poucos recursos. Em regiões semiáridas, a disponibilidade de tecnologias acessíveis e eficazes para o manejo do estresse hídrico em culturas de eucalipto pode promover o desenvolvimento sustentável e a produtividade agrícola.

Considerando a importância do eucalipto como cultura econômica e a necessidade de superar os desafios impostos pelo estresse hídrico em regiões secas, este estudo teve como objetivos: analisar os efeitos da inoculação de diferentes espécies de bactérias promotoras do crescimento vegetal em mudas de eucalipto submetidas a diferentes regimes de irrigação; avaliar o impacto do uso de diferentes BPCVs no crescimento de plantas de eucalipto em condições de campo; avaliar a morfologia de mudas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal.

Os resultados destes estudos têm o potencial de impactar positivamente a produção de eucalipto em regiões secas, ao fornecer alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para o manejo da espécie.

REFERÊNCIAS

- Araújo, F.S., rodal, M. J. N.; barbosa, M. R. V. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: Suporte e estratégias regionais de conservação**, Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p.17-36.
- Baldani, J. I.; caruso, L.; baldani, V. L.; Goi, S. R.; Döbereiner, J. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n.5-6, p. 911-922, 1997.
- Bettencourt, G. M. F; Degenhardt, J.; Dos Santos, G. D.; Vicente, V. A.; Soccol, C. R. Metagenomic analyses, isolation and characterization of endophytic bacteria associated with Eucalyptus urophylla BRS07-01 in vitro plants. **World J Microbiol Biotechnol**, v,30, n.37, p.10- 164, 2021.
- Chaín, J.M.; Tubert, E.; Graciano, C.; Castagno, L. N.; Recchi, M.; Pieckenstain, F. L.; Estrella, M. J.; Gudesblat, G.; Amodeo, G.; Baroli, I. Growth promotion and protection from drought in Eucalyptus grandis seedlings inoculated with beneficial bacteria embedded in a superabsorbent polymer. **Sci Rep** v.10, n.18221, 2020.
- Dobbelaere, S.; vanderleyden, J.; Okon, Y. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.22, p.107- 149, 2003.
- Etesami, H.; Maheshwari, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.156, p.225-246, 2018.
- Grossnickle, S.C. Why Seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, V. 43, n.5/6, p.711-738, 2012
- Hutsch, B. W.; Schubert. S. Maize harvest index and water use efficiency can be improved by inhibition of gibberellin biosynthesis. **J Agro Crop Sci**, Giesse, v. 204, n. 1, p. 209-218, 2017.
- Mafia, R. G.; Alfenas, A. C., Siqueira, L.; Ferreira, E. M.; Leite, H. G.; Cavallazzi, J. R. P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. Viçosa, **Revista Árvore**, v. 29, p. 947 - 953, 2005.
- Ibá- Indústria Brasileira de Árvores. 2017. **Relatório IBA 2017**. São Paulo.

Disponível em: <https://www.iba.org/dados-estatisticos>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Miguel, P. S. B., De Oliveira, M. N. V., delvaux, J. C., Jesus, G. L., Borges, A. C., Tótola, M. R., Costa, M. D. Diversity and distribution of the endophytic bacterial community at different stages of eucalyptus growth. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 109, p. 755-771, 2016.

Raasch, L. D.; Bonaldo, S. M.; Oliveira, A. A. F. Bacillus subtilis: Enraizamento e crescimento de miniestacas de eucalipto em Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil. **Biosci J.** v.29, p.1446-1457, 2013.

Roscoe, R.; Miranda, R. A. S. Fixação Biológica de Nitrogênio e Promoção de Crescimento em Milho Safrinha. In: Roscoe, R.; Lourenção, A. L. F.; Grigolli, J. F. J.; Melotto, A. M.; Pitol, C.; Miranda, R. A. S. **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno 2013**. Curitiba: Midiograf, p. 38-44, 2013

Rodrigues, V. A., Santos, R. K. A.; Barbosa, A. J. V.; Novais, D. B.; Ferreira, J. S. Isolamento e inoculação de rizobactérias em mudas de Eucalyptus urophylla. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v.34 n.67, p.138-149, 2019.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente - Livro científico. p. 163, 2018.

ARTIGO I

Morfologia de mudas de eucalipto sob estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal

-
- **Situação:** submetido



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/



Morfologia de mudas de eucalipto sob estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal

Morphology of eucalyptus seedlings under water stress and inoculated with bacteria that promote plant growth

ARTICLE INFO

Recebido Dia Mês Ano

Aceito Dia Mês Ano

Publicado Dia Mês Ano

ABSTRACT

Water scarcity can cause a series of physiological, morphological, and biochemical damages to plants. In this context, the introduction of Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) has been studied as a promising strategy to enhance plant tolerance to water stress and improve eucalyptus crop performance. This study aimed to evaluate the morphology of *Eucalyptus urophylla* seedlings subjected to different levels of water stress and inoculated with plant growth-promoting bacteria. The experiment was conducted in a greenhouse, and the experimental design was completely randomized in a 4 x 5 factorial scheme. Four irrigation levels (60%, 100%, 140%, and 180% of pot field capacity) and four auxin-producing bacteria ((DNSE04, DNVC22, DNVC07 e DNVC11), along with a control, were used. Plant height, stem diameter, leaf number, main root length, shoot dry mass, root dry mass, root volume, and SPAD index were all evaluated. The results indicated that water stress negatively affected the growth of eucalyptus seedlings, but the introduction of plant growth-promoting bacteria has shown to be a promising strategy to increase water stress tolerance in young eucalyptus plants. The DNVC07 bacteria exhibited the best results, and the most suitable water level was 116% of the pot field capacity.

Keywords: Abiotic stress, hydric regime, bacterial isolates.

RESUMO

A escassez de água pode causar uma série de danos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos nas plantas. Nesse contexto, a introdução de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV) tem sido estudada como uma estratégia promissora para aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico e melhorar o desempenho da cultura do eucalipto. Este estudo objetivou avaliar a morfologia de mudas de *Eucalyptus urophylla* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas

com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Assim, o experimento foi conduzido em uma casa com vegetação e o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 4 x 5, com 3 repetições. Foram utilizadas quatro lâminas de irrigação (60%, 100%, 140% e 180% da capacidade de campo dos vasos) e quatro bactérias produtoras de auxinas (DNSE04, DNVC22, DNVC07 e DNVC11), além de uma testemunha. A Altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, comprimento da raiz principal, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, volume da raiz e índice SPAD foram avaliados. Os resultados indicaram que o estresse hídrico afetou negativamente o crescimento das mudas de eucalipto, mas a inserção das bactérias promotoras do crescimento vegetal tem demonstrado uma estratégia promissora para aumentar a tolerância ao estresse hídrico em plantas jovens de eucalipto. A bactéria DNVC07 apresentou os melhores resultados, e a lâmina de água mais adequada foi de 116% da capacidade de campo dos vasos.

Palavras-Chave: Estresse abiótico, regime hídrico, isolados bacterianos.

Introdução

A busca por soluções que possam maximizar a produção do eucalipto é constante, dada a importância do eucalipto para a economia brasileira. No entanto, as condições climáticas desfavoráveis e a escassez de água em algumas regiões brasileiras têm dificultado o cultivo do eucalipto.

Uma das principais barreiras ao crescimento e desenvolvimento das plantas em áreas semiáridas, onde a quantidade de água é insuficiente para atender à demanda hídrica das plantas, é o estresse hídrico. A escassez de água pode causar uma variedade de danos fisiológicos e bioquímicos às plantas, como uma redução na taxa de fotossintética, um aumento no risco de morte celular e a acumulação de espécies reativas do oxigênio.

A inserção de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV) em plantas, tem sido estudada nesse contexto como um método viável para melhorar a resistência das plantas ao estresse hídrico e melhorar o desempenho da cultura do eucalipto em situações em que a disponibilidade de água é limitada. Essas bactérias podem ajudar as plantas a crescer, produzindo hormônios vegetais, fixando nitrogênio, solubilizando fosfatos e produzindo compostos que fortalecem as plantas contra patógenos e fatores ambientais (Alves et al., 2020, Martins et

al., 2020, Santos et al., 2021; Silva et al., 2022).

Experimentos mostram que a inoculação com BPCV pode melhorar a resistência das plantas a diversos tipos de estresse abiótico. Por exemplo, pesquisas com eucalipto demonstraram que a inoculação com BPCV aumentou o enraizamento em miniestacas, aumentando a probabilidade de sobrevivência das plantas, melhorando seu status nutricional e aumentando a produção de biomassa (González et al., 2018).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo analisar os efeitos da inoculação de diferentes estirpes de bactérias promotoras do crescimento vegetal em plantas de eucalipto submetidas a diferentes regimes de irrigação. A hipótese é que a inoculação com BPCV pode melhorar o crescimento das mudas de eucalipto sob condições de estresse hídrico, aumentando a efetividade no uso da água.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, no *campus* de Vitória da Conquista. O local está a 840 m de altitude e apresenta uma precipitação pluviométrica anual média de 730 mm. Por ser uma região de planalto, o clima é caracterizado como tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen (1928).

As bactérias selecionadas para o experimento foram originalmente isoladas de mudas de eucalipto, utilizando a metodologia para isolamento de microrganismos em espécies não leguminosas (Baldani et al., 2014).

Os isolados estavam depositados e conservados em ágar e óleo mineral na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Vitória da Conquista – Bahia. Para a reativação das bactérias, partes do estoque disponível de cada isolado foram retiradas e transferidas para tubos de ensaio contendo 5 mL de meio de cultura líquido DIGs (Baldani et al., 2014), onde foram mantidos por 48 horas a 30°C para monitoramento do crescimento e da pureza. As colônias consideradas puras foram utilizadas na produção do inoculante líquido em meio DIGs, onde foram feitas diluições seriadas até 1×10^9 UFC mL⁻¹. Após a diluição, foi realizada a transferência de 1 mL da suspensão de cada diluição para tubos de ensaio.

Uma última repicagem em Ágar foi realizada para a comprovação do crescimento e do desenvolvimento das colônias, gerando isolados para a produção do inoculante líquido em meio DIGs (Baldani et al., 2014), com inoculação de 3 mL em cada planta.

O solo utilizado no experimento foi classificado, de acordo com a classe textural, como sendo franco argiloso, o qual

foi previamente analisado quimicamente e corrigido de acordo com as indicações de adubação por Ribeiro et al. (1999).

As mudas de eucalipto utilizadas foram produzidas a partir do clone AEC 144 (*Eucalyptus urophylla*), oriundas de um viveiro comercial, material genético vastamente produzido e plantado localmente.

O experimento foi realizado em viveiro de mudas no *campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Os clones, com idade de 90 dias e altura média de 20 cm, foram transplantados para vasos de 35 L, permanecendo por 90 dias, entre os meses de junho a setembro de 2021. Para padronização, todos os vasos foram pesados para a determinação das massas de solo.

A obtenção da Evapotranspiração da cultura (ETc) seguiu a metodologia adaptada de Adorian et al. (2015), que consistiu na determinação da capacidade de campo dos vasos para a obtenção dos volumes de água necessários para cada tratamento de irrigação.

Esses volumes tiveram como base a evapotranspiração da cultura, sendo obtidos, diariamente, durante o experimento, por meio das pesagens de três vasos previamente escolhidos pela manhã e quantificando a água perdida para a atmosfera, pela diferença do peso da capacidade de vaso pelo peso obtido no dia.

Essa diferença foi (em volume, 1 g = 1 mL) dividida pela área da superfície do solo, resultando na evapotranspiração da cultura, em mililitros.

Os valores de ET_c , obtidos diariamente, foram utilizados como base para o cálculo do volume de água necessário para as plantas. Esses volumes foram divididos em quatro níveis, os quais definiram as lâminas de irrigação dos tratamentos durante o experimento, que foram correspondentes a 60%, 100%, 140% e 180% da ET_c . Os valores das lâminas foram escolhidos com o intuito de verificar o comportamento do eucalipto junto com as BPCV em situações de estresse hídrico.

Visando a avaliação do crescimento das mudas de eucalipto, foi realizada a inoculação das bactérias, observando sempre para que houvesse um contato direto com as raízes. Foram inoculadas nas mudas quatro estirpes bacterianas (DNSE04, DNVC22, DNVC07 e DNVC11) e a testemunha, que continha apenas o meio de cultura DIGs (Baldani et al., 2014), sem inoculação.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro lâminas de irrigação e quatro estirpes bacterianas, totalizando 20 tratamentos com três repetições.

As medidas de altura da planta e diâmetro do caule (medido no colo da raiz)

foram obtidas com régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. O número de folhas foi determinado contando-se todas as folhas presentes em cada planta.

O índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) foi medido no intervalo das 09h30min às 11h00min da manhã, sempre na parte mediana de uma folha completamente desenvolvida, utilizando um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 Plus, marca Konica Minolta®. A leitura foi realizada no terço-médio da lâmina foliar, na primeira folha abaixo da lígula visível da planta. Foram realizadas três repetições por planta, obtendo-se a média por unidade.

Após o período de 90 dias, as amostras foram recolhidas e preservadas em sacos plásticos. Elas foram então mantidas em uma câmara fria, em torno de 10°C, até o momento da lavagem. Durante a lavagem, as amostras foram submetidas a água corrente através de uma peneira de 30 mesh, visando a separação das raízes.

As raízes foram escaneadas e, em seguida, submetidas à análise utilizando o *software* Safira (Jorge & Rodrigues, 2008). Assim, foi possível quantificar o comprimento (em centímetros) e o volume (em centímetros cúbicos) das raízes. Além disso, o peso da massa seca da parte aérea e das raízes foi obtido após a secagem em uma estufa a uma temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$.

Foram aplicados testes de Normalidade (Shapiro-Wilk) e Homogeneidade (Bartlett) para verificação dos pressupostos sobre os resíduos para proceder a análise de variância. Para o fator quantitativo, aplicou-se a análise de regressão e, para escolha dos modelos, observou-se os valores dos coeficientes da regressão, seu coeficiente de determinação e o fator biológico. Para o fator qualitativo, aplicou-se o teste de média Scott-Knott, adotando-se significância de 5% de probabilidade, dentro de cada lâmina utilizada. Os dados foram considerados significativos nas análises, quando foi observado o p valor $< 0,05$ e $R^2 > 50\%$.

Ao final, com intuito de agrupar os valores das variáveis observadas e obter um melhor entendimento das respostas, foi aplicada a análise multivariada de componentes principais (PCA).

Resultados e Discussão

A análise estatística dos dados revelou que existiu interação significativa para os fatores nas variáveis de altura, massa seca da raiz, volume de raiz e comprimento de raiz (Tabela 1).

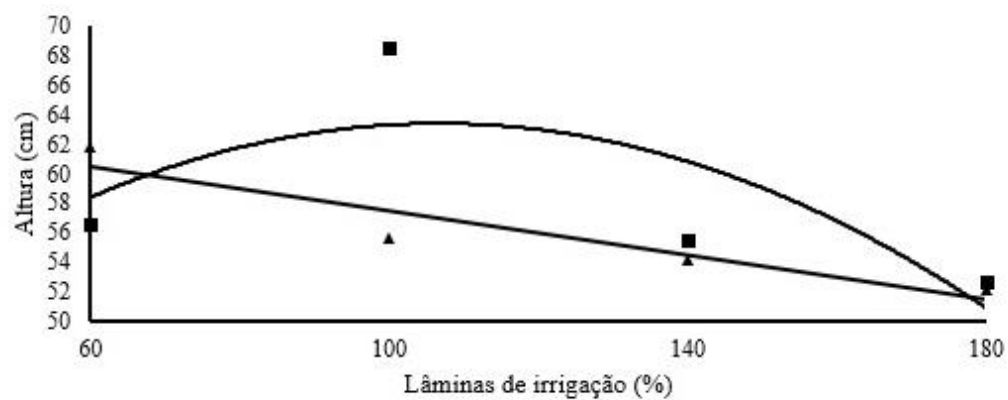
Tabela 1. Análise de variância (resumo) e coeficientes de variação (CV), altura de planta (Alt), diâmetro do colo (Dia), Número de folhas (N° Folha), comprimento da raiz principal (COMP), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Seca da Raiz (MSR), Volume da raiz (Vol), SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), em mudas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, produzidas sob diferentes regimes hídricos. Fonte: Almeida Filho (2022)

FV	GL	Quadrado médio							
		Alt	Dia	N°	COMP	MSPA	MSR	Vol	SPAD
		(cm)	(cm)	Folha	(cm)	(g)	(g)	(cm ³)	(unidade)
Lâmina (L)	3	54,25*	1,59 ^{ns}	1351 ^{ns}	421,4*	133,36 ^{ns}	63,65*	1032*	43,41*
Bactéria (B)	4	292,47*	12,07 ^{ns}	4835,5 ^{ns}	215,7 ^{ns}	173,62 ^{ns}	68,47*	15433,5*	44,74*
(L) x (B)	12	81,62*	3,83 ^{ns}	731,3 ^{ns}	345,07*	115,15 ^{ns}	39,10*	1292,5*	11,90 ^{ns}
Resíduo	40	17,118	2,4768	1229,9	144,55	142,61	8,267	350,2	7,21
CV (%)	-	7,57	14,59	25,01	15,95	40,82	21,2	15,28	7,03

*Significativo ($p \leq 0,05$).

Analisando os efeitos isolados, observou-se significância para a variável Bactéria em relação à altura, número de folhas, massa seca da raiz, volume de raiz e SPAD. A lâmina de irrigação apresentou significância na altura, comprimento de raiz, massa seca da raiz, volume de raiz e SPAD.

Os resultados da análise de regressão mostram que o modelo quadrático ($R^2=54,99\%$) descreve o comportamento da bactéria DNVC07 de maneira mais adequada, com a altura máxima de 63,4 cm ocorrendo em torno de 106% do valor da lâmina. Considerando a bactéria DNSE04, o modelo linear ($R^2=86,51\%$) foi o que melhor se ajustou, apresentando uma altura máxima de 60,1 cm (Figura 1). Para as outras bactérias, não foi possível ajustar modelos aos dados.



▲ DNSE04 = $65,025 - 0,07575x$ $r^2 = 86,51\%$ ■ DNVC07 = $36,98625 + 0,496x - 0,002328x^2$
 $R^2 = 54,99\%$

Figura 1. Altura de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140%, 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).

Em todas as lâminas, os valores de altura observados foram superiores com o uso das bactérias em relação ao tratamento sem inoculação (Tabela 2).

Tabela 2. Altura (ALT) observada em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140%, 180%. Fonte: Almeida Filho (2022)

Tratamentos	Alt (cm)			
	60%	100%	140%	180%
TEST	46,25B	44,46C	50,63A	50,64A
DNSE04	61,8A	55,6B	54,16A	52,18A
DNVC22	56,5A	50,25B	51,9A	53A
DNVC07	56,6A	68,6A	55,5A	52,6A
DNVC11	53,76A	66,82A	52,26A	58,83A

*Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

A interação significativa entre as variáveis Bactéria e Lâmina de irrigação teve um efeito importante sobre a altura das plantas. Os resultados indicam que, em todas as lâminas de irrigação, as plantas tratadas com as bactérias tiveram uma altura superior em relação à testemunha (sem inoculação).

Na lâmina de 60%, o uso da bactéria DNSE04 resultou em um aumento de 33,62% na altura das plantas, em comparação com o grupo controle. O uso da bactéria DNVC07, nessa mesma lâmina, resultou em um aumento de 22,37% na altura.

Na lâmina de 100%, foi observado um aumento significativo de 54,26% na altura das plantas tratadas com a bactéria DNVC07, em comparação com o grupo controle. Na lâmina de 140%, o uso da mesma bactéria resultou em um acréscimo de 9,61% na altura, enquanto na lâmina de 180% houve um aumento de 16,17%.

Esses resultados sugerem que as bactérias podem desempenhar um papel fundamental na promoção do crescimento das plantas sob diferentes níveis de irrigação.

Segundo Anjum et al. (2011), o crescimento da planta é o atributo mais sensível ao déficit hídrico, sendo a primeira característica a ser afetada. De acordo com Tardieu & Simonneau (1998), a redução no crescimento de plantas expostas a

condições de estresse hídrico é uma resposta adaptativa que busca minimizar a perda de água pela transpiração e manter a hidratação celular. Essa adaptação ocorre, em grande parte, pela alteração na relação entre o crescimento da raiz e o crescimento do caule, em que a redução do crescimento do caule é uma estratégia para preservar a água da planta. Essa alteração na relação entre raiz e caule pode levar a uma redução na produção de biomassa e, conseqüentemente, na altura da planta.

Dasgupta et al. (2021) avaliaram a comunidade endofítica bacteriana de seis clones de diferentes espécies de Eucalipto e a capacidade desses indivíduos de aumentar a tolerância do hospedeiro contra o estresse hídrico. A análise de diversidade alfa mostrou que a riqueza e a diversidade de algumas espécies de microrganismos foram altas em clones suscetíveis ao estresse hídrico. Os autores afirmam que, provavelmente, há uma casualidade entre esses índices e a característica.

Nas lâminas de 140% e 180%, com quase todas as bactérias, foram encontrados valores de altura inferiores, quando comparados com as demais lâminas. Resultados semelhantes foram encontrados por Batista et al. (2008), os quais observaram redução na altura em mudas de *Cecropia pachystarchya* Trécul sob alagamento. Segundo Lenhard (2010), solos saturados podem acarretar diversos

problemas para a produção florestal e, com isso, afetar o desenvolvimento em altura das plantas.

O número de folhas e o diâmetro do colo não foram significativamente afetados pelos tratamentos, mas a maioria dos tratamentos com bactérias foi superior ao tratamento controle. Em regiões com baixa disponibilidade de água, o uso de BPCV pode ajudar no crescimento dessas variáveis, devido ao impacto do estresse hídrico comprovado em estudos anteriores (Tatagiba et al., 2007; Silva et al., 2015).

Os resultados da análise do comprimento da raiz principal apresentaram significância para as lâminas de irrigação e para a interação entre os fatores, com um coeficiente de variação de 15,95%. No entanto, os modelos utilizados não cumpriram com os pré-requisitos estabelecidos no estudo. Dessa forma, o comportamento da variável foi analisado dentro das diferentes lâminas de irrigação, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Comprimento da raiz principal (cm) observado em plantas do clone AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidas à aplicação de Bactérias promotoras do crescimento vegetal (BCPV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022)

Tratamentos	Comprimento (cm)			
	60%	100%	140%	180%
TEST	73,50A	62,00B	71,3A	70,33A
DNSE04	80,20A	87,00A	72,67A	75,00A
DNVC22	84,00A	73,00A	72,66A	76,67A
DNVC07	76,00A	79,00A	73,00A	73,00A
DNVC11	79,60A	93,67A	66,67A	73,67A

**Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

O teste estatístico Scott Knott, a 5% de significância, não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos, exceto pela lâmina de 100%, com a qual a testemunha apresentou resultados inferiores aos demais tratamentos.

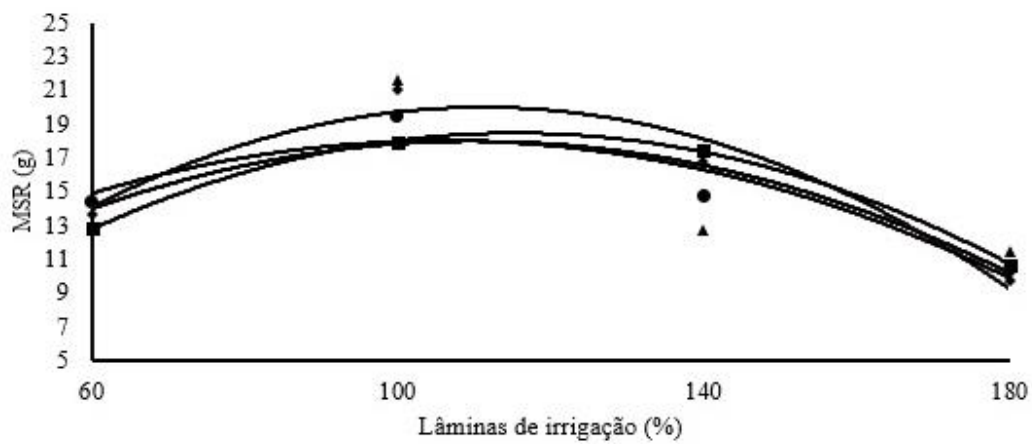
Devido à capacidade das bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em produzir auxinas, é possível que sua aplicação tenha influenciado o aumento do comprimento da raiz principal do clone AEC144 de *E. urophylla* em diferentes regimes hídricos, como demonstrado na Tabela 3. Segundo Glick (2012), as auxinas produzidas pelas BPCV podem promover o crescimento das raízes e melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas. Além disso, mesmo em regimes hídricos adversos, a utilização de BPCV pode manter ou até mesmo aumentar o comprimento da raiz principal em comparação com a testemunha, como observado nos resultados deste estudo.

Hormônios vegetais são substâncias químicas produzidas pelas plantas que regulam processos fisiológicos e bioquímicos, desempenhando papéis essenciais no desenvolvimento do vegetal. A auxina é um desses hormônios vegetais e está associada diretamente ao crescimento e formação radicular (Taiz & Zeiger, 2016).

Shiomi et al. (2016), em um estudo com mudas de *E. urograndis*, objetivando avaliar o efeito de 32 isolados bacterianos

produtores de AIA, encontraram diferentes resultados, quando associaram esses isolados bacterianos a diferentes variáveis morfológicas. Entretanto, foi verificado que a maioria das bactérias testadas por estes autores aumentaram, significativamente, o comprimento das raízes.

O peso de massa seca da parte aérea mostrou-se indiferente aos tratamentos empregados, entretanto, apresentou interação significativa para todas as bactérias testadas, tendo ajustes de modelos quadráticos, explicando melhor o comportamento da variável (Figura 2).



$$\blacklozenge \text{DNSE04} = -7,89025 + 0,5017x - 0,0023x^2 \quad R^2 = 94,32\%$$

$$\blacksquare \text{DNVC11} = -3,8835 + 0,2437x - 0,001x^2 \quad R^2 = 69,94\%$$

$$\blacktriangle \text{DNVC22} = -0,589125 + 0,33206x - 0,001511x^2 \quad R^2 = 51,73\%$$

$$\bullet \text{DNVC07} = -6,2573 + 0,4285x - 0,00185x^2 \quad R^2 = 99,95\%$$

Figura 2. Massa seca das raízes de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2023).

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que as bactérias promotoras de crescimento DNSE04 e DNVC07 apresentaram os maiores valores preditos para a massa seca das raízes, com 19,94 g e 18,55 g, respectivamente. Estes valores foram observados em diferentes lâminas de irrigação, de 111% e 116%, respectivamente. É importante destacar que esses resultados representaram um aumento significativo da massa seca das raízes, em comparação com o tratamento sem inoculação, que apresentou a maior média de massa seca de raízes na lâmina de 140%. O incremento na MSR foi de 53,03% e 42,36% para as bactérias DNSE04 e DNVC07, respectivamente.

Essas respostas de acúmulo de massa seca de raiz por esses isolados podem ser justificadas pela ação do ácido indolacético. Esse hormônio promove a expansão da área e do comprimento da raiz, resultando em uma melhor arquitetura radicular, proporcionando um maior acesso aos nutrientes, seja por fluxo de massa, por interceptação ou por difusão (Taiz & Zeiger, 2016).

Rosa et al. (2018), em um estudo com *Azospirillum*, encontraram incrementos positivos no enraizamento de mudas de oliveira (*Olea europaea* L). Essa bactéria é conhecida na literatura por sua capacidade de produção de AIA (Hungria et al., 2015).

As auxinas desempenham um papel em uma variedade de processos fisiológicos nas plantas, que vão desde processos celulares básicos até mudanças morfológicas significativas, como diferenciação e desenvolvimento da raiz (Taiz 2012), corroborando o que foi encontrado neste estudo. Em eucalipto, Nascimento et al. (2021) encontraram alterações morfológicas em mudas dessa espécie induzidas pela inoculação de BPCV promotoras de auxinas.

Observando-se os dados encontrados, verifica-se que os tratamentos sem inoculação foram inferiores aos inoculados (Tabela 4).

Tabela 4. Massa seca da raiz (MSR) observada em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022)

Tratamentos	MSR (g)			
	60%	100%	140%	180%
TEST	7,57B	7,95B	13,03A	8,97A
DNSE04	13,63A	21,03A	16,76A	9,65A
DNVC22	12,71A	21,6A	12,73A	11,40A
DNVC07	12,79A	17,92A	17,40A	10,64A
DNVC11	14,36A	9,05B	15,23A	10,36A

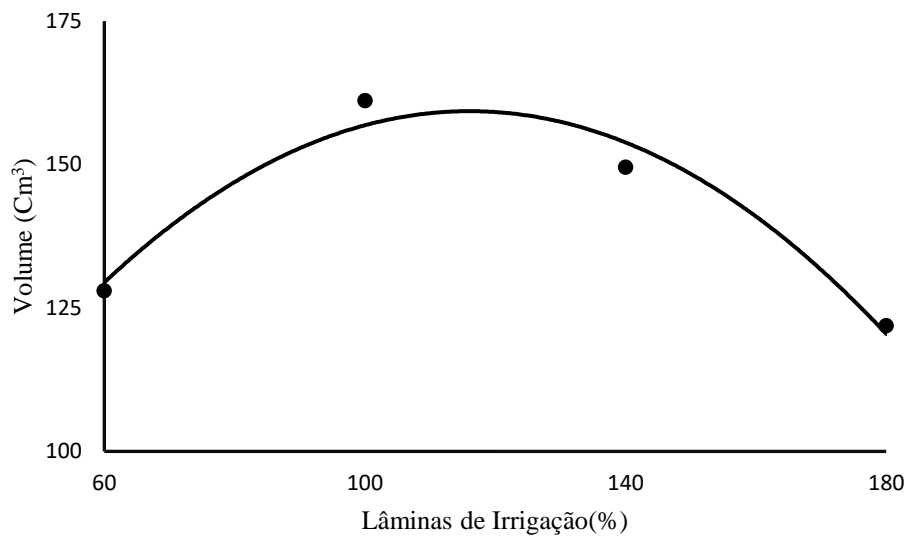
*Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

Na Lâmina 60%, a bactéria DNVC11 incrementou 89,69% ao valor de MSR, em comparação ao tratamento sem inoculação, seguido da bactéria DNSE04, com 80,05% de incremento. Na lâmina de 100%, os dados de massa seca mostraram incrementos de 164,5% para a bactéria DNSE04; 171,69% para a bactéria DNVC22; 125,4% para a bactéria DNVC07; e 13,8% para a bactéria DNVC11.

A literatura atual corrobora os resultados encontrados neste estudo, a exemplo de Shiomi et al. (2016) que encontraram resultados semelhantes, nos quais as bactérias promotoras de crescimento vegetal foram capazes de aumentar a massa seca das raízes de eucalipto, em um estudo com diferentes bactérias inoculadas.

A interação positiva entre as bactérias promotoras do crescimento e as plantas pode ser explicada pela capacidade dessas bactérias em produzir substâncias, como ácido indolacético e citocininas, que promovem o crescimento celular e a proliferação de células meristemáticas.

Os resultados de volume das raízes indicam que houve significância, tanto para os fatores isolados quanto para a interação. No entanto, somente a bactéria DNVC11 apresentou ajuste adequado ao modelo quadrático (Figura 3).



●DNVC11=31,3457+ 2,2048x -0,0095x² R² = 0,9592

Figura 3. Volume de raízes de plantas de *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2023).

A lâmina de irrigação máxima, de 116%, produziu um volume de raízes de 159,27 cm³. Apesar da ausência de resultados significativos para as demais bactérias, foi novamente observado que o volume das raízes foi afetado pelas BPCV, destacando a importância desses organismos no desenvolvimento radicular das plantas (Tabela 5).

Tabela 5. Volume de raízes (cm³) observadas em clones AEC144 de *Eucalyptus urophylla*, submetidos à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%. Fonte: Almeida Filho (2022).

Tratamentos	Volume (cm ³)			
	60%	100%	140%	180%
TEST	59,33B	51,31B	43,90C	84,33B
DNSE04	135,40A	127,09A	169,64A	133,06A
DNVC22	148,54A	146,45A	167,50A	117,94A
DNVC07	94,10B	162,18A	116,74B	149,55A
DNVC11	128,01A	161,15A	149,55A	121,90A

*Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

O padrão de comportamento do volume das raízes segue o mesmo dos resultados de massa seca e comprimento das raízes, com os tratamentos inoculados apresentando valores superiores aos tratamentos sem inoculação. Na lâmina de irrigação de 60%, a bactéria DNVC22 apresentou um incremento de 150,3%, seguida por um aumento de 216% na lâmina de irrigação de 100% com a bactéria DNVC07; 286% na lâmina de irrigação de 140% com a bactéria DNSE04; e 77,2% na lâmina de irrigação de 180% com a bactéria DNVC07. Todos esses valores de incremento foram observados, quando comparados com o controle sem inoculação.

É esperado que o volume de raízes de plantas inoculadas com BPCV seja superior àquelas não inoculadas. Uma explicação para isso deve-se aos exopolissacarídeos (EPS), que são substâncias extracelulares que funcionam como uma rede rizosférica, aumentando a superfície de contato entre o solo e as raízes das plantas, alterando a retenção de água e a condutividade hidráulica do solo (Zheng et al., 2018).

Não se sabe ao certo se essas bactérias utilizadas proporcionam a criação dos EPS, entretanto, vários estudos mostraram que uma gama de bactérias diferentes foi capaz de criar essas estruturas e, com isso, aumentar a capacidade de água

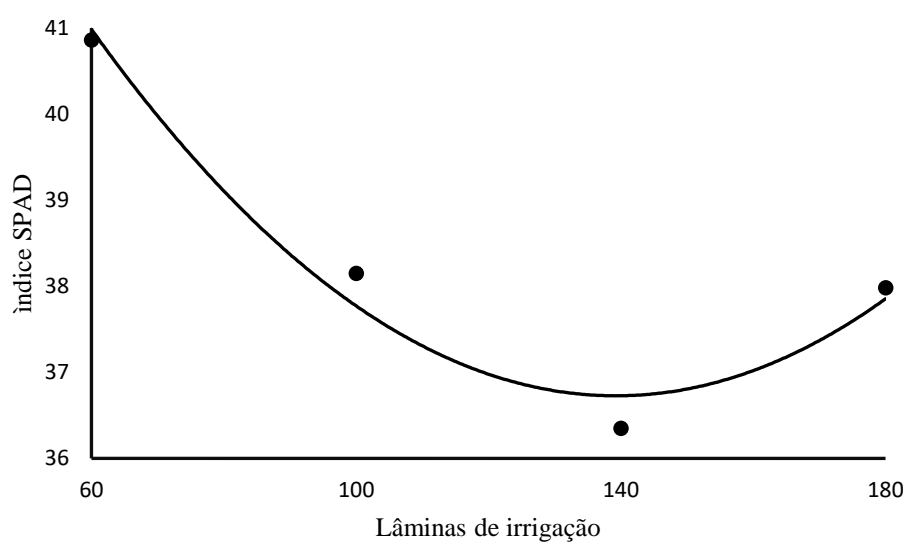
retida no solo (Rosenzweig et al., 2012; Kroener et al., 2014), o que aumenta as chances de ocorrência com as bactérias utilizadas.

Os resultados deste estudo demonstram a importância das BPCV no desenvolvimento radicular das plantas, principalmente quando se trata de incrementos no volume das raízes. Resultados semelhantes foram encontrados por Moretti (2020), que verificou que a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal aumentou o volume radicular de mudas de soja. Além disso, Gouda et al. (2018) demonstraram que a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal pode melhorar a arquitetura radicular das plantas, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes.

A interação significativa, observada neste estudo, indica que o efeito das bactérias promotoras de crescimento vegetal no volume das raízes pode variar de acordo com o nível de irrigação. Esse resultado pode estar relacionado com a capacidade dessas bactérias em melhorar a absorção de água pelas raízes, uma vez que o acesso à água é fundamental para o desenvolvimento radicular das plantas (Vacheron et al., 2013).

A análise de variância mostrou efeitos significativos apenas para os fatores isolados para o índice SPAD. Os valores de

Lâminas x SPAD foram adequadamente ajustados pelo modelo quadrático, com R² de 96,97% (Figura 4).



● $SPAD = 0,0007x^2 - 0,1889x + 49,876$ $R^2 = 96,97\%$

Figura 4. Índice SPAD em *Eucalyptus urophylla*, clone AEC 144, submetidas à aplicação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCV), sob os regimes hídricos de 60%, 100%, 140% e 180%.
 Fonte: Almeida Filho (2022).

O índice SPAD é um valor gerado a partir de grandezas relacionadas com teores de clorofila (Jesus, 2008). Esses pigmentos são essenciais na captura e conversão da luz durante a fotossíntese, estando diretamente ligada à fase clara desse processo (Taiz & Zeiger, 2016). O índice SPAD leva em consideração a intensidade de cor verde da folha, que se correlaciona diretamente com os pigmentos de clorofila da folha vegetal.

A falta de interação significativa entre os níveis de irrigação e a inoculação bacteriana, no índice SPAD, pode indicar que o efeito da inoculação bacteriana não foi forte o suficiente para superar o efeito dos níveis de irrigação no crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, é importante observar que o índice SPAD é apenas uma medida indireta do crescimento das plantas e não reflete necessariamente em outros processos fisiológicos importantes, como a absorção e assimilação de nutrientes.

A análise multivariada dos componentes principais (PCA) indicou que os tratamentos sem inoculação não se correlacionaram positivamente com as variáveis analisadas, o que reforça a importância das bactérias promotoras de crescimento vegetal (Figura 5).

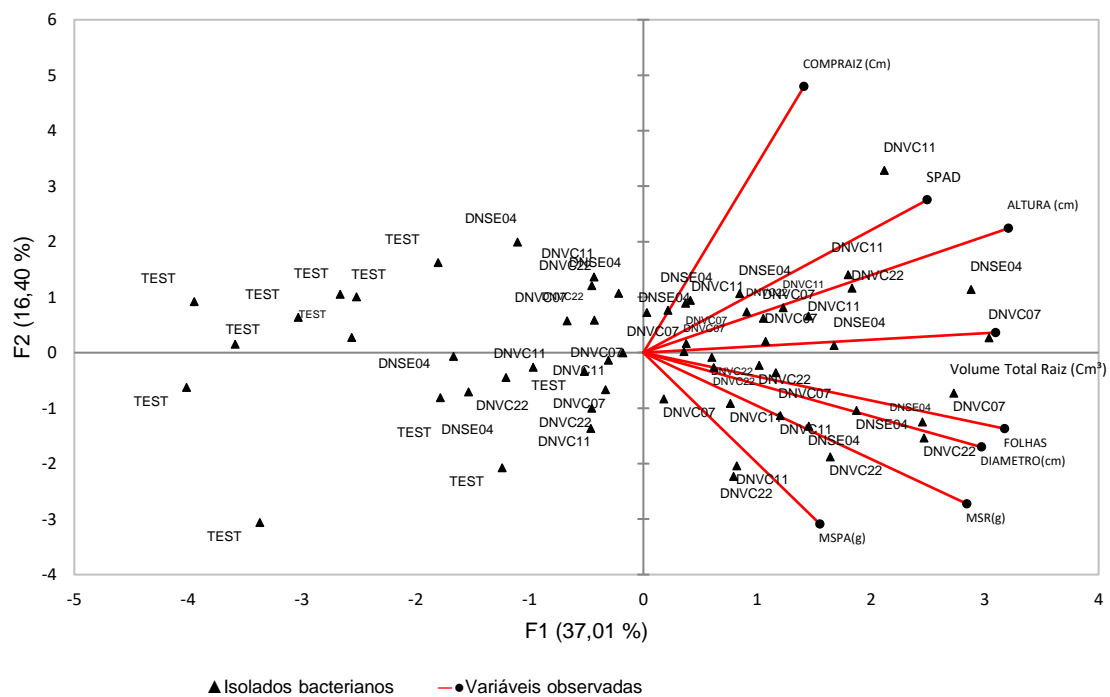


Figura 5. Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais. Fonte: Almeida Filho (2022).

Além disso, o volume total das raízes foi a característica que mais se correlacionou com as BPCV, o que é coerente com a produção de auxinas, hormônios que estimulam o desenvolvimento radicular. A bactéria DNVC07 foi a que apresentou a maior associação com as variáveis, especialmente aquelas relacionadas ao desenvolvimento radicular, o que indica sua eficácia como promotor de crescimento vegetal.

Esses resultados demonstram que as BPCV têm a capacidade de promover o crescimento e expansão dos tecidos radiculares, favorecendo o acúmulo de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das plantas em campo. Por serem uma alternativa mais econômica em relação às técnicas convencionais de manejo cultural, principalmente para produtores rurais que estão em regiões semiáridas, a utilização das BPCV pode ser uma solução viável e sustentável para o cultivo de eucaliptos.

Diante dessas informações, torna-se evidente a importância de novos estudos que busquem entender melhor a dinâmica das culturas junto com os microrganismos das BPCV. A disseminação desses conhecimentos para os produtores rurais pode proporcionar uma alternativa mais sustentável e eficiente para o cultivo de eucaliptos, principalmente em regiões semiáridas.

Conclusões

As bactérias DNVC07 e DNSE04 mostraram-se eficientes para promover um impacto significativo no aumento da altura e massa seca das raízes das plantas de eucalipto, enquanto a bactéria DNVC11 destacou-se no aumento do volume e comprimento das raízes.

A lâmina de irrigação ideal para promover o máximo desenvolvimento da massa seca e volume de raiz difere pouco, quando comparado com o desenvolvimento, em altura, das plantas.

A aplicação dessas bactérias tem um potencial promissor para melhorar a eficiência do uso da água em plantios de eucalipto, independentemente da quantidade de irrigação aplicada.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e pela bolsa concedida.

Referências

Adorian, G. C.; Lorençoni, R.; Dourado Neto, D.; Reichardt, K. 2015. Evapotranspiração Potencial e Coeficiente da Cultura de dois Genótipos de arroz de Terras Altas. *Brazilian Journal of Agriculture*. 90, 2, 128-140.
<https://doi.org/10.37856/bja.v90i2.190>

- Alves, M. V.; Nesi, C. N.; Naibo, G.; Barreta, M. H.; Lazzari, M.; Fiorese Júnior, R. A.; Skoronski, E. 2020. Corn seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in different nitrogen fertilization management. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 15, 3, e8100. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a8100>
- Anjum, S. A.; Xie, X.; Wang, L.; Saleem, M. F.; Man, C.; Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 9, 2026-2032. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Baldani, J. I.; Reis, V. M.; Videira, S. S.; Boddey, L. H.; Baldani, V. L. D. 2014. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and Soil*, 384, 413-431, <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2186-6>.
- Batista, C. U. N.; Medri, M. E.; Bianchini, E.; Medri, C. 2008. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. *Acta Bot. Bras.*, 22, 1, 91-98. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000100012>
- Dasgupta, M. G.; Burragoni, S.; Amrutha, S.; Muthupandi, M.; Parveen, A. B. M.; Sivakumar, V.; Ulaganathan, K. 2020. Diversity of bacterial endophyte in *Eucalyptus* clones and their implications in water stress tolerance, *Microbiological Research*, 241, 126579. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126579>
- Glick, B. R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Hindawi Publishing Corporation Scientifica, 2012, 9634041 <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- González, P.; Sossa, K. Rodríguez, F.; Eugenio, S. 2018 Rhizobacteria strains as promoters of rooting in hybrids of *Eucalyptus nitens* × *Eucalyptus globulus*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78, 1-10. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000100003>
- Gouda, S.; Das, G.; Sen, S. K.; Shin, H.; Patra, J. K. 2016 Endophytes: a treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. *Frontiers in microbiology*, 7, 1538. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01538>
- Hungria, M.; Nogueira, M. A.; Araujo, R. S. 2015. Soybean Seed Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A New Biotechnological Tool to Improve Yield and Sustainability. *American Journal of Plant Sciences*, 6,

- 811-817.
<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>
- Jesus, S. V.; Marenco, R. A. 2008. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*. 38, 4, 815-818, <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400029>
- Jorge, L. A. C.; Rodrigues, A. F. O. 2008, Safira: Sistema de análise de fibras e raízes. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Instrumentação Agropecuária*. São Carlos, n. 24, 21p.
- Kroener, E., Zarebanadkouki, M.; Kaestner, A.; Carminati, A. 2014. Nonequilibrium water dynamics in the rhizosphere: How mucilage affects water flow in soils. *Water Resources Research*, 50, 8, 6479-6495. <https://doi.org/10.1002/2013WR014756>
- Köppen, W.; Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes.
- Lenhard, N. R.; Scalon, S. P. Q.; Novelino, J. O. 2010. Crescimento inicial de mudas de pau ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth.) sob diferentes regimes hídricos. *Ciências Agrárias*, 34, 4, 870-877. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400011>
- Martins, M. B. F.; Silva, A. H. S.; Carvalho, C. T.; Azeredo, G. A.; Oliveira, F. L. N. 2020. Biofertilizante de torta de filtro e bactéria promotora do crescimento em plantas na produção de mudas de alface. *Brazilian Journal of Development*, 6, 9, 67758-67768. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-274>
- Moretti, L. G.; Crusciol, C. A. C.; Kuramae, E. R.; Bossolani, J. W.; Moreira, A.; Costa, N. R.; Alves, C. J.; Pascoaloto, I. M.; Rondina, A. B. L.; Hungria, M. 2020. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. *Agronomy Journal*, 112, 1, 418-428. <http://dx.doi.org/10.1002/agj2.20010>
- Nascimento, C. C.; Ferreira, J. S.; Santos, R. K. A.; Lima, M. C. D.; Ladeia, C. A.; Ávila, J. S.; Almeida Filho, R. L. S. 2021. Desenvolvimento de *Eucalyptus urophylla* submetido à inoculação de bactérias diazotróficas nativas. *Brazilian Journal of Development*, 7, 5, 47287-47304. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29632>
- Rosenzweig, R.; Shavit, U.; Furman, A. 2012. Water retention curves of biofilm-affected soils using xanthan as an analogue. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 1, 61-69.
- Santos, R. K. A.; Ferreira, J. S.; Paula, R. C.; Rodrigues, V. A.; Silva, V. A. M. D.; Santos, J. D. S. 2021. Plant growth-promoting bacteria associated with

- nitrogen fertilization in *Eucalyptus urophylla* increase growth. *Holos*, 2, 1-14.
<https://doi.org/10.15628/holos.2021.9828>
- Silva, V. A. M.; Ferreira, J. S.; Santos, R. K. A.; Nascimento, C. C.; Rodrigues, V. A.; Lima, M. C. D. 2022. Desempenho do clone AEC144 de Eucalipto inoculado com bactérias diazotróficas no Sudoeste da Bahia. *Research, Society and Development*, 11, 2, e29211225589.
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25589>
- Tardieu, F.; Simonneau, T. 1998. Variability among Species of Stomatal Control under Fluctuating Soil Water Status and Evaporative Demand: Modelling Isohydic and Anisohydic Behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49, 419-432
https://doi.org/10.1093/jxb/49.Special_Issue.419
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. 1. ed. Viçosa: CBCS/UFV, 359p.
- Rosa, D. D.; Villa, F.; Silva, D. F.; Corbari, F. 2018. Rooting of semihardwood cutting of olive: indolbutyric acid, calcium and *Azospirillum brasilense*. *Comunicata Scientiae*. 9, 1, 34-40,
<https://doi.org/10.14295/cs.v9i1.977>
- Shiomi, H. F.; Accordi, S. H.; Sabino, D. C. C. 2016. Promoção de crescimento de mudas de eucalipto mediada por bactérias produtoras de auxina. *Scientific Electronic Archives*, 9, 4.
- Silva, C. R. A.; Ribeiro, A.; Oliveira, A. S.; Klippel, V. H.; Barbosa, R. L. P. 2015. Desenvolvimento biométrico de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação na fase de crescimento. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35, 84, 381-390.
<https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.897>
- Tatagiba, S. D.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F.; Dardengo, M. C. J. D.; Effgen, T. A. M. 2007. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. *Cerne*, 13, 2, 149 - 159.
- Vacheron, J. Desbrosses, G.; Bouffaud, M.; Touraine, B.; Moëgne-Loccoz, Y.; Muller, D.; Legendre, L.; Wisniewski-Dyé, F.; Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in plant science*, 4, 356.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>
- Taiz, L; Zeiger, E. 2016. *Fisiologia vegetal*. 6. ed. São Paulo, Artmed, 954p.
- Vannier, N.; Agler, M.; Hacquard, S. 2019. Microbiota-mediated disease resistance in plants. *PLoS Pathog.*, 15, 6, e1007740.
<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007740>

Zheng, W.; Zeng, S.; Bais, H.; LaManna, J. M.; Hussey, D. S.; Jacobson, D. L.; Jin, Y. 2018. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Reduce Evaporation and Increase Soil Water Retention. *Water Resources Research*, 54, 3673-3687. <https://doi.org/10.1029/2018WR02265>

6

ARTIGO II

BPCV nativas da Bahia no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus cloeziana* em
condições de campo

-
- **Situação:** não submetido

PGPB natives from Bahia in the initial development of *Eucalyptus cloeziana* in conditions field.

State University of Southwest Bahia – Vitória da Conquista

HIGHLIGHTS:

Plant growth-promoting bacteria showed significant increases in the height and diameter of eucalyptus plants, highlighting their potential to improve forest production.

The DNV07 bacterium has shown remarkable results, presenting itself as a promising candidate for future applications in forestry, promoting the growth of eucalyptus.

The study underscores the need to understand the interaction between growth-promoting bacteria and plants, opening up new perspectives in agricultural research and forestry for the development of healthy and robust plants.

Due to the growing demand for wood and raw materials of forest origin, increasing productivity in forestry is critical. To achieve this goal, it is essential to adopt efficient and sustainable methods that promote the growth and development of plants. In this scenario, the use of plant growth promoting bacteria (BPCVs) has been shown to be a promising option, in which it plays a key role in stimulating plant growth and development. Therefore, the aim of this study was to evaluate the impact of the use of CVBPs on the growth of eucalyptus plants under field conditions. The experiment was implemented in a randomized design in the experimental campus of the Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, where clones of *Eucalyptus cloeziana* were used in a total area, counting the border, of 0.5 ha. The plants were inoculated individually with three bacterial strains (DNV07 and DNV11, JN32F), in addition to the control, which consisted only of the DYGS culture medium without bacterial inoculation. Plant height, stem diameter, number of leaves, main root length, shoot dry mass, root dry mass, root volume and SPAD index were evaluated. A significant interaction was observed in the variables height, diameter and number of leaves, indicating that the treatments exerted a significant effect on these characteristics. In general, the bacterium DNV07 presented the best results of increments when compared with the other treatments.

Keywords: Rhizobacteria, bacterial isolates, forestry.

BPCV nativas da Bahia no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus cloeziana* em condições de campo

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Vitória da Conquista.

HIGHLIGHTS:

Bactérias promotoras do crescimento vegetal mostraram aumentos significativos na altura e no diâmetro das plantas de eucalipto, destacando seu potencial para melhorar a produção florestal.

A bactéria DNVC07 demonstrou resultados notáveis, apresentando-se como uma candidata promissora para futuras aplicações na silvicultura, promovendo o crescimento de eucaliptos. O estudo ressalta a necessidade de compreender a interação entre as bactérias promotoras de crescimento e as plantas, abrindo novas perspectivas na pesquisa agrícola e na silvicultura para o desenvolvimento de plantas saudáveis e robustas.

Devido à crescente demanda por madeira e matérias-primas de origem florestal, aumentar a produtividade na silvicultura é fundamental. Para atingir esse objetivo, é fundamental adotar métodos eficientes e sustentáveis que promovam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse cenário, a utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCVs) tem se evidenciado como uma opção promissora, desempenhando um papel fundamental ao estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Portanto, o objetivo deste estudo consistiu em avaliar o impacto do uso de BPCVs no crescimento de plantas de eucalipto em condições de campo. O experimento foi implantado em um delineamento em blocos casualizados, no campus experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, onde se utilizou clones de *Eucalyptus cloeziana* em uma área total, contando a bordadura, de 0,5 ha. As plantas foram inoculadas individualmente com três estirpes bacterianas (DNVC07 e DNVC11, JN32F), além da testemunha, que consistia apenas no meio de cultura DYGS sem inoculação bacteriana. Foram realizadas avaliações de altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, comprimento da raiz principal, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, volume da raiz e índice SPAD. Foi observada interação significativa nas variáveis altura, diâmetro e número de folhas, indicando que os tratamentos exerceram um efeito significativo nessas características. De uma maneira geral, a bactéria DNVC07 apresentou os melhores resultados de incrementos, quando comparada com os demais tratamentos.

Palavras-chave: Rizobactérias, isolados bacterianos, silvicultura

Introdução

A busca por aumentar a produtividade na agricultura e na silvicultura é uma meta de extrema importância, visando suprir as demandas crescentes por alimentos e matérias-primas. Para atingir esse objetivo, é necessário adotar estratégias eficazes e sustentáveis que promovam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, as tecnologias que envolvem o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCVs) têm despontado como uma alternativa promissora. Essas tecnologias vêm sendo testadas em diversas culturas agrícolas, apresentando resultados positivos e estimulando avanços significativos no setor (Rodrigues, 2019).

As BPCVs desempenham um papel fundamental no estímulo ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Por meio de mecanismos de interação benéfica, esses microrganismos são capazes de melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, aumentar a resistência a patógenos e estresses ambientais, e promover o desenvolvimento radicular e a produção de biomassa. Além disso, as BPCVs são capazes de produzir hormônios vegetais, como as auxinas e as citocininas, que influenciam positivamente o crescimento das plantas.

Devido ao extenso estudo da associação entre processos de associação de plantas e microrganismos para uma melhor disponibilidade nutricional, essa prática apresenta diversos benefícios adicionais. Entre eles, destaca-se a obtenção de maior produtividade em plantas inoculadas, redução dos custos de produção de culturas, melhoria no suprimento de nutrientes, capacidade de solubilização de fosfatos, auxílio na adaptação da espécie de interesse ao ambiente, produção de reguladores vegetais e aumento da atividade fotossintética (Nascimento, 2021).

A literatura científica tem fornecido evidências sólidas dos benefícios do uso de BPCVs em diversas culturas agrícolas. Estudos como os realizados por Gupta et al. (2019), Kuan et al. (2016), Santos et al. (2021) têm demonstrado que as BPCVs podem promover melhorias significativas no crescimento, na produção e na resistência das plantas a fatores bióticos e abióticos adversos. No entanto, a aplicação dessas tecnologias em espécies florestais ainda é uma área de pesquisa em expansão.

Diante desse contexto, este estudo busca preencher essa lacuna de conhecimento e contribuir para uma melhor compreensão do potencial das BPCVs no contexto específico do eucalipto, pois compreender o uso dessas tecnologias inovadoras em espécies florestais, como o eucalipto, pode abrir caminhos para uma produção mais sustentável e competitiva no cenário nacional. Portanto, o objetivo deste estudo consiste em avaliar o

impacto do uso de diferentes BPCVs no crescimento de plantas de eucalipto em condições de campo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, município de Vitória da Conquista, localizado no sudoeste da Bahia, a 840 metros de altura e uma precipitação média anual de 730 mm. O clima é classificado como tropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen (1928).

As bactérias utilizadas no experimento foram extraídas de mudas de *Eucalyptus* sp. originalmente, utilizando a metodologia proposta por Baldani et al. (2014) para isolamento de microrganismos em espécies não leguminosas. Os isolados utilizados fazem parte da rede biotecnológica do laboratório de Biotecnologia Florestal, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Vitória da Conquista – Bahia, os quais foram escolhidas por apresentarem bons resultados em estudos anteriores.

As bactérias estavam depositadas na Universidade e, para que fosse possível a utilização dos isolados, foi necessária a reativação dos mesmos. Para isso, parte do estoque disponível de cada isolado foi retirada e transferida para tubos de ensaio contendo 5 mL de meio de cultura líquido DYGS. Eles foram mantidos a 30°C, por 48 horas, para verificar o crescimento e a pureza das bactérias (Baldani et al., 2014). O inoculante líquido foi feito com DYGS, usando colônias consideradas puras, onde se realizou a contagem dos materiais que desenvolveram películas características, juntamente com a seleção do material mais puro, sem a ocorrência de possíveis contaminações; posteriormente diluições seriadas foram feitas até 1×10^9 UFC mL⁻¹ para determinar a população de cada bactéria inoculada. Após a diluição, um mililitro da suspensão de cada diluição foi transferido para tubos de ensaio.

Uma repicagem final em Ágar foi realizada para verificar o crescimento e o desenvolvimento das colônias. Para o preparo do inoculante, os isolados bacterianos foram colocados para crescer em meio DYGS líquido por 24 horas, a 30 graus. Após o crescimento das bactérias, utilizou-se 5 ml do inoculante no sistema radicular das mudas, no momento do plantio.

O solo característico da área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia é classificado de acordo com a classe textural como sendo franco argiloso, e a análise química do solo mostrou as seguintes propriedades: pH: 6,1; Soma das Bases: 5,6 cmolc dm³; CTC efetiva: 5,6 cmolc dm³; CTC a pH 7,0: 7,5 cmolc dm³; P = 42 mg dm³; K = 0.51 cmolc dm³). De acordo com a análise do solo e da exigência nutricional

da cultura (Ribeiro et al., 1999), o solo não precisou ser corrigido quimicamente com calcário.

Neste experimento, utilizou-se clones de *Eucalyptus cloeziana* em uma área total, contando a bordadura, de 0,5 ha. A escolha da espécie se deu por conta da alta sensibilidade à seca (Ngugi et al., 2003) e as mudas plantadas tinham 90 dias de idade.

As mudas foram colocadas no solo em um espaçamento padrão de 3 x 3 metros, com covas de cerca de 50 centímetros de profundidade, garantindo que o substrato ficasse totalmente coberto. O experimento foi realizado ao longo de cinco meses, de outubro de 2022 a fevereiro de 2023, durante o período chuvoso na região sudoeste da Bahia (Figura 1).

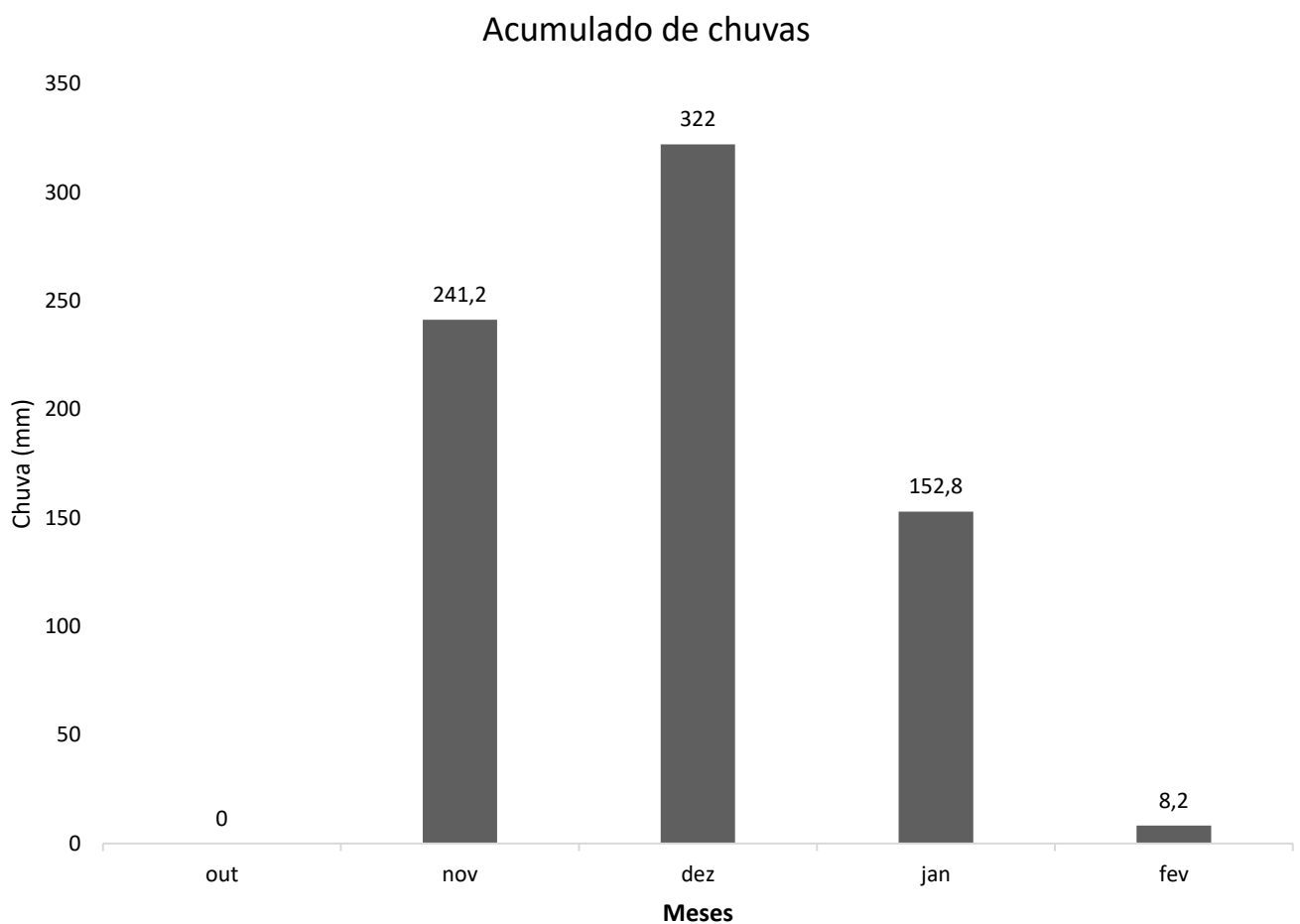


Figura 1: Precipitação acumulada durante os meses de outubro a fevereiro, na cidade de Vitória da Conquista – Bahia.

No período de outubro a fevereiro, quando não houve chuvas, as mudas foram regadas diariamente, a fim de garantir que a capacidade real de água no solo fosse o suficiente para o pleno desenvolvimento das unidades experimentais.

Com o objetivo de avaliar o crescimento das mudas de eucalipto, procedeu-se à inoculação de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal utilizando 3 mL da suspensão líquida, garantindo um contato direto com as raízes. Foram inoculadas nas mudas três estirpes bacterianas (DNVC07 e DNVC11, JN32F), além da testemunha, que consistia apenas no meio de cultura DYGS (Baldani et al., 2014), sem inoculação bacteriana.

Este estudo empregou um delineamento em blocos casualizados (DBC) para a análise experimental. No experimento, adotou-se a seguinte configuração: cada unidade experimental foi composta pela média de 5 plantas, distribuídas em 4 blocos, aos quais foram aplicados 4 tratamentos (3 bactérias e um grupo de controle), resultando em um total de 16 parcelas. Cada parcela continha 5 plantas, resultando em um número total de 80 plantas avaliadas.

As variáveis foram analisadas após 120 dias de experimento, utilizando uma régua graduada e um paquímetro digital, quando foram obtidas as medidas de altura da planta e diâmetro do caule, respectivamente. O número de folhas foi obtido contando-se todas as folhas presentes em cada planta.

A medição do índice SPAD foi realizada no período entre 09h30min e 11h00min da manhã, utilizando um clorofilômetro portátil do modelo SPAD-502 Plus, da marca Konica Minolta®. Para essa medição, foi selecionada uma folha completamente desenvolvida na parte mediana da planta.

A leitura foi feita no terço-médio da lâmina foliar, na primeira folha abaixo da lígula visível da planta. Cada planta foi repetida três vezes, e a média por unidade foi calculada.

Antes de realizar a análise de variância, foram realizados testes de Normalidade (Shapiro-Wilk) e Homogeneidade (Bartlett) para verificar os pressupostos dos resíduos. Além disso, aplicou-se o teste de média Tukey, adotando um nível de significância de 5% de probabilidade para cada bactéria utilizada. Os resultados foram considerados significativos nas análises, quando o valor de p foi inferior a 0,05.

Por fim, realizou-se uma análise dos componentes principais com o objetivo de identificar possíveis padrões ou agrupamentos nos dados.

Resultados e discussão

Com base na análise estatística dos dados, foi identificada uma interação significativa

entre os tratamentos nas variáveis Altura, Diâmetro e Número de folhas, mostrando que os tratamentos tiveram um impacto significativo nessas variáveis.

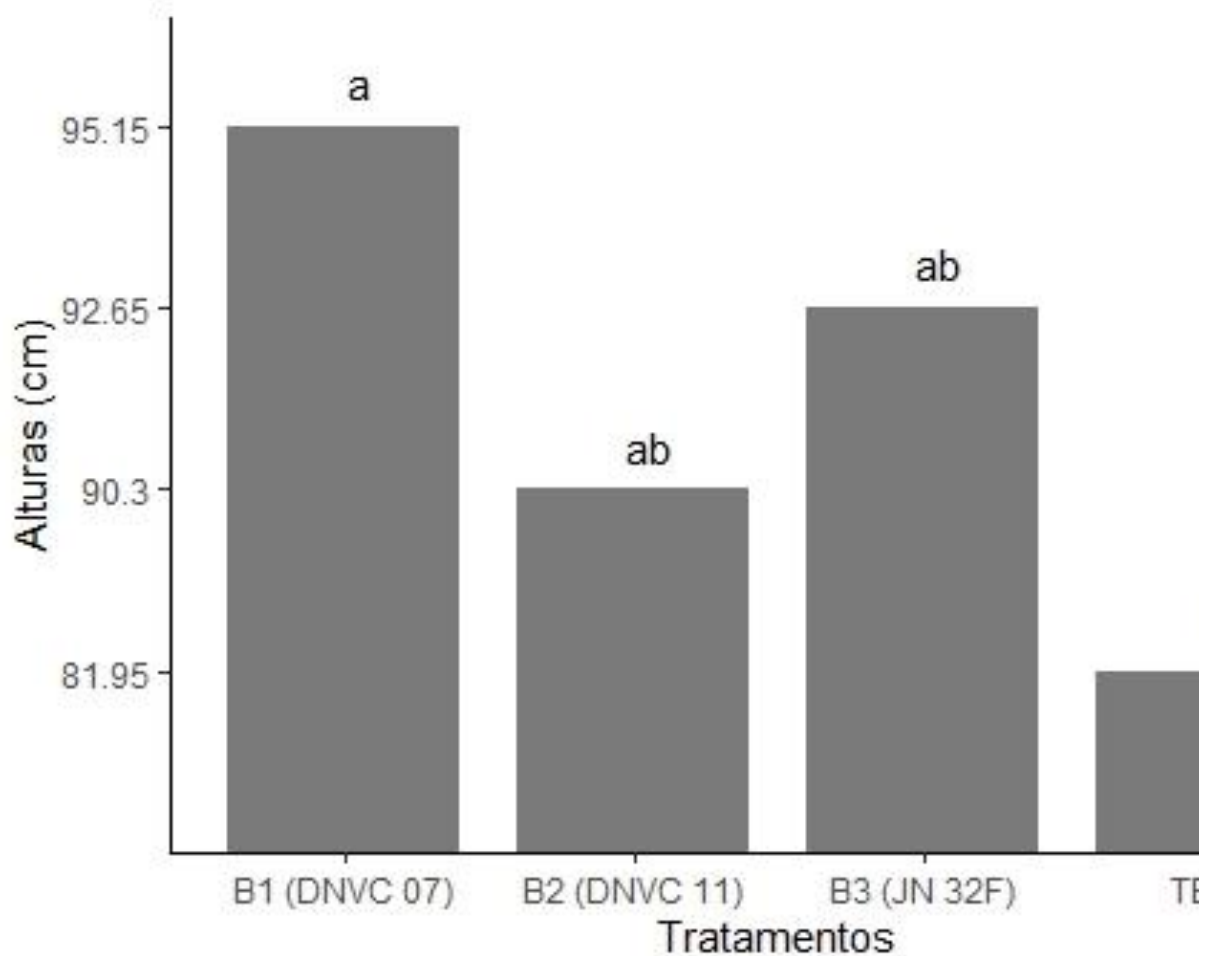
No entanto, não foi observado efeito significativo entre os blocos em nenhuma das variáveis analisadas. Além disso, o índice SPAD não foi afetado pelos tratamentos aplicados (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV), em relação à altura de planta (alt), diâmetro do colo (Dia), Número de folhas (Nº Folhas), e índice SPAD em mudas de *Eucalyptus cloeziana*, produzidas sob diferentes bactérias promotoras do crescimento vegetal.

FV	GL	Quadrado médio			
		Alt	Dia	Nº Folha	SPAD
Tratamento	3	131,25*	23,99*	1051112*	2,33 ^{ns}
Bloco	3	97,55 ^{ns}	5,77 ^{ns}	194497 ^{ns}	1,21 ^{ns}
Resíduo	9	29,15	4,37	182193	0,79
CV (%)	-	6	12,06	20,08	2,04

*significativo a 5%

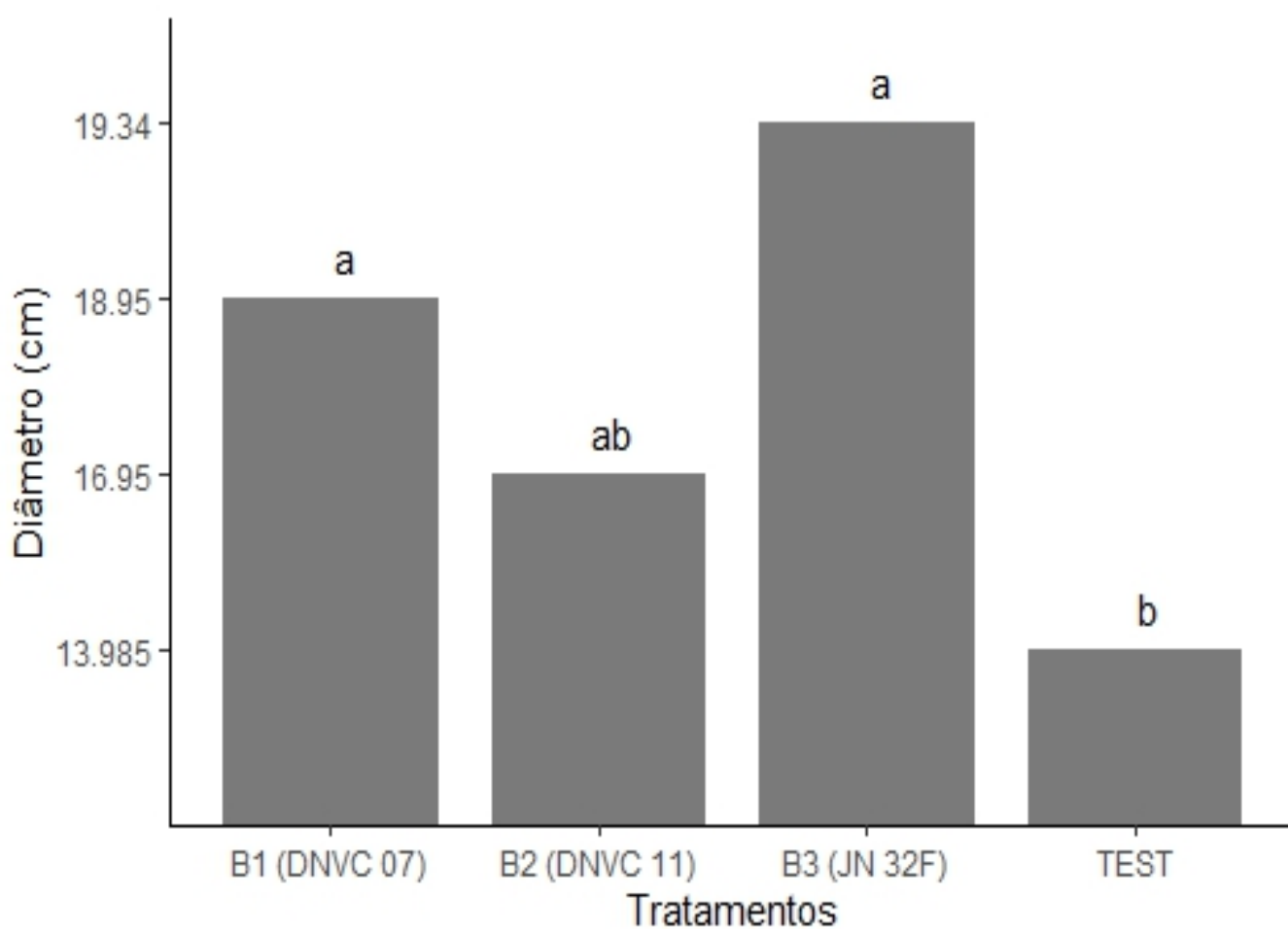
Na análise da altura das plantas, verificou-se que o tratamento com a bactérias DNVC07 foi estatisticamente superior ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos (Figura 2).



*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 2. Alturas de mudas de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo.

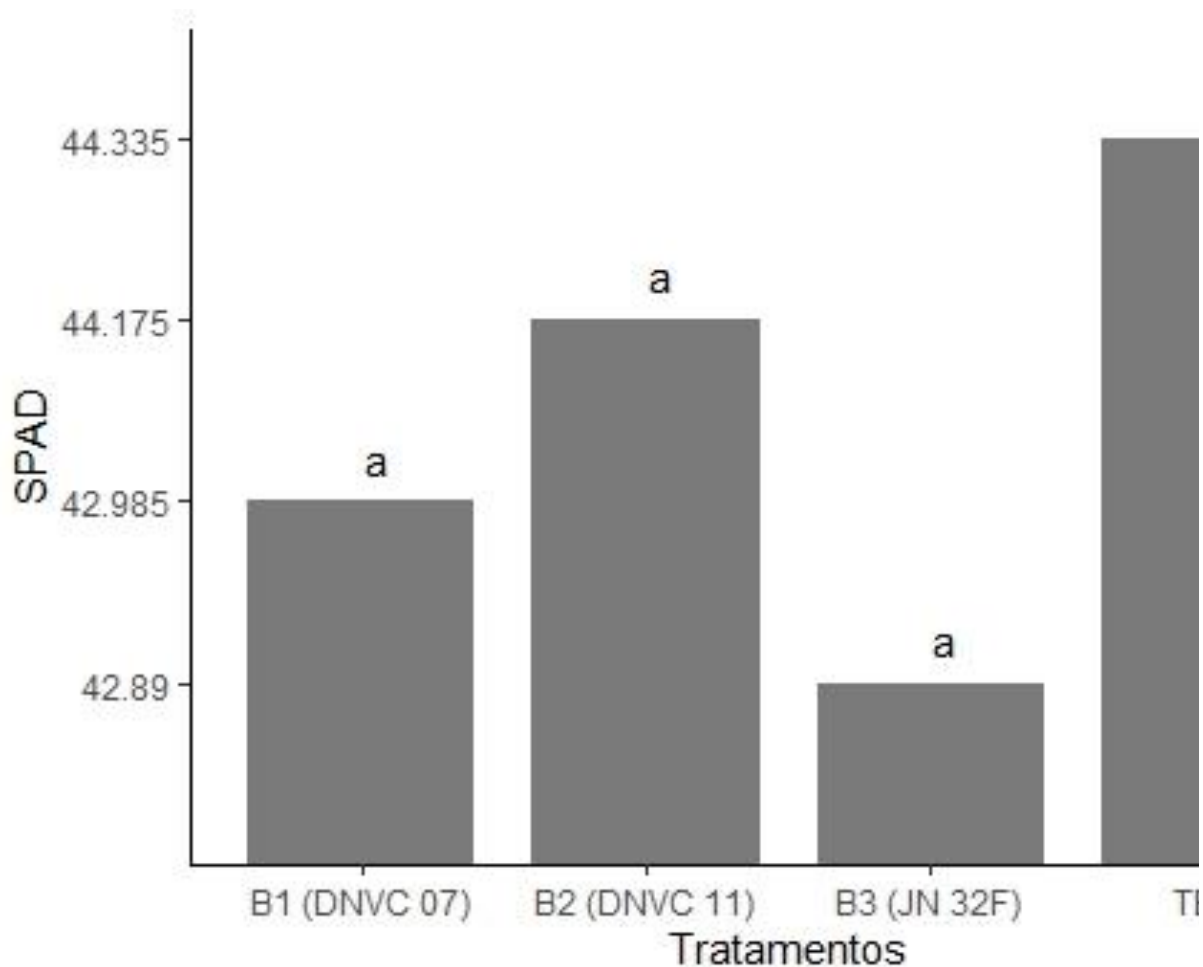
Na análise do diâmetro, foi observado um resultado semelhante, com as melhores médias ($p < 0,05$) obtidas nos tratamentos com a bactéria JN32F. No entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos com as bactérias DNVC07 e DNVC11. Assim como na análise da altura, o tratamento sem inoculação foi inferior em relação aos demais tratamentos (Figura 3).



*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 3. Diâmetro de mudas de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo.

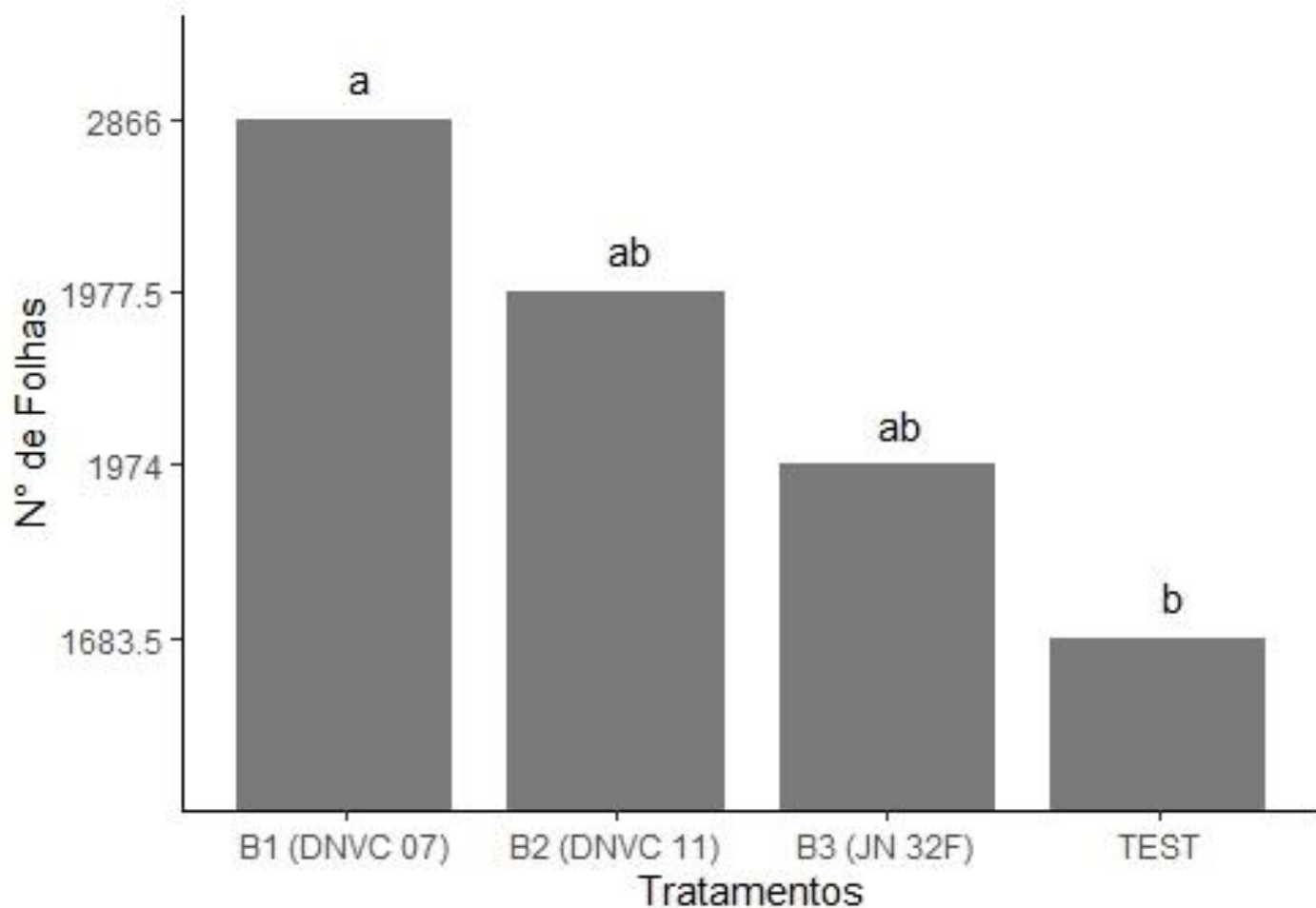
Na avaliação do índice SPAD, os tratamentos com os inoculantes não apresentaram diferenças significativas entre si, nem em relação ao tratamento testemunha (Figura 4).



*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 4. Índice SPAD em *Eucalyptus cloeziana*, submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo.

A análise do número de folhas revelou um resultado significativo ($p < 0,05$) apenas para o tratamento com a bactéria DNVC07, destacando-se dos demais tratamentos (Figura 5).



*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 5. Número de folhas de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas à inoculação de diferentes Bactérias promotoras de crescimento vegetal, em campo.

Os resultados obtidos demonstram claramente os efeitos positivos desses microrganismos na estimulação do crescimento vegetal e no aumento da biomassa.

Em relação à altura das plantas, observou-se um aumento significativo, de 16,1%, com a bactéria DNVC07; 13,42% com a bactéria JN32F; e 10,18% com a bactéria DNVC11 em comparação com os tratamentos sem a aplicação dos isolados. Esses resultados são consistentes com os achados de Raasch et al. (2013) que relataram um incremento expressivo na altura de mudas de eucalipto em cinco clones diferentes ao utilizar BPCV.

Em um estudo recente conduzido por Santos et al. (2021), foi comprovado que a

bactéria JN32F possui a capacidade de produzir e liberar auxinas, um tipo de hormônio vegetal. Essa característica é observada em diversas espécies de microrganismos e é muito provável que as outras bactérias testadas no experimento apresentem o mesmo comportamento.

A ação das bactérias na produção hormonal tem uma relação direta com o alongamento do tecido radicular, o que contribui para o crescimento em altura das plantas. Isso explica de fato o crescimento em altura das plantas, corroborando, assim, os resultados encontrados neste experimento.

No que diz respeito ao diâmetro, os resultados revelaram um aumento significativo no crescimento das plantas tratadas com as bactérias JN32F, DNVC07 e DNVC11. Em comparação com o grupo controle, observou-se um incremento de 38% no diâmetro das plantas tratadas com a bactéria JN32F, 35,5% com a bactéria DNVC07 e 21,2% com a bactéria DNVC11.

Esses resultados são consistentes com os dados obtidos para a variável altura, indicando que o efeito das bactérias na promoção do crescimento foi igualmente evidente, tanto em relação à altura quanto ao diâmetro das plantas. Esse aumento no diâmetro sugere um maior desenvolvimento do sistema vascular das plantas tratadas, resultado direto da provável influência das auxinas produzidas pelas BPCV, obtendo, assim, um crescimento mais robusto e vigoroso.

Souza et al. (2011) relataram um aumento significativo no diâmetro de mudas de outras espécies, como *Swartzia argentea* e *S. laevi-carpa*, após a inoculação de rizobactérias. Em um estudo realizado por Nascimento et al. (2020) com inoculação em mudas de eucalipto, não foi encontrada diferença significativa entre os isolados bacterianos utilizados. No entanto, foi observado que tanto a altura quanto o diâmetro das mudas apresentaram incrementos de 2,92% e 6,38%, respectivamente, em comparação com a testemunha.

Esses resultados corroboram os obtidos neste estudo e indicam que o efeito positivo das rizobactérias no diâmetro do caule das mudas pode ser generalizado entre diferentes espécies florestais. Isso fortalece a evidência de que a interação entre as bactérias promotoras de crescimento e as plantas é um mecanismo relevante para o desenvolvimento robusto e saudável das mudas, independentemente da espécie envolvida.

O índice SPAD é uma medida que considera a coloração da cor verde das folhas, a qual está diretamente relacionada com os pigmentos de clorofila presentes nas folhas

vegetais, sendo assim, um excelente índice para medir determinadas grandezas relacionadas com teores de clorofila (Jesus, 2008). Para este estudo, o tratamento sem inoculação apresentou a maior média, entretanto, nenhum dos tratamentos foi significativamente superior aos demais, evidenciando que a inoculação não foi eficiente sobre esta característica.

Quando ao número de folhas, foi observado um aumento significativo com o tratamento da bactéria DNVC07. Houve um incremento de pelo menos 44,5% em relação ao tratamento com a bactéria DNVC11, cuja média de folhas foi estatisticamente similar às demais bactérias e à testemunha. Esse aumento significativo demonstra que a bactéria DNVC07 foi capaz de promover o aumento da biomassa, contribuindo para o desenvolvimento das plantas.

Rodrigues et al. (2019) encontraram valores próximos aos obtidos, quando estudaram a inoculação de diferentes variedades de BPCV em mudas *E. urophylla*. Segundo os autores, algumas das bactérias promoveram um crescimento superior a 65% em relação ao grupo controle.

Os resultados encontrados no número de folhas podem ser atribuídos, muito provavelmente, aos efeitos dos hormônios vegetais, como a Citocinina, produzida pelas rizobactérias. Os reguladores de crescimento, também conhecidos como hormônios vegetais, estimulam o crescimento do sistema radicular das plantas, o que, por consequência, impulsiona o desenvolvimento da parte aérea. Isso resulta em um notável aumento na biomassa da planta. Esse aumento no número de folhas pode ser considerado um reflexo direto desse processo, evidenciando a capacidade das rizobactérias em estimular o crescimento vegetal de forma efetiva.

Entretanto, outra explicação para esse aumento significativo dessas variáveis morfológicas pode ser a inibição da síntese de etileno. De acordo com Haal et al. (1996), a capacidade das rizobactérias em reduzir os níveis de etileno nas plantas é um dos mecanismos mais importantes para a promoção do crescimento vegetal. Essa ação tem um papel fundamental no estímulo ao desenvolvimento saudável e vigoroso das plantas, resultando em um crescimento mais robusto e produtivo.

De acordo com Teixeira (2001), o etileno pode atuar como um indutor de enraizamento em várias espécies vegetais. No entanto, quando ocorre um acúmulo desse hormônio, observa-se um efeito inibitório na elongação das raízes, o que afeta diretamente toda a biomassa da planta. Isso ressalta a importância de um equilíbrio adequado na regulação dos níveis de etileno para o desenvolvimento saudável e

apropriado do sistema radicular, o que pode ser muito bem associado às BPCV.

Na Figura 6 encontra-se a análise multivariada dos componentes principais (PCA) e mostra de forma clara os resultados obtidos e discutidos até o momento. De acordo com a PCA, os tratamentos sem inoculação não possuem praticamente correlação com nenhuma das variáveis estudadas, enquanto todos os outros tratamentos mostram alguma correlação com os dados das variáveis.

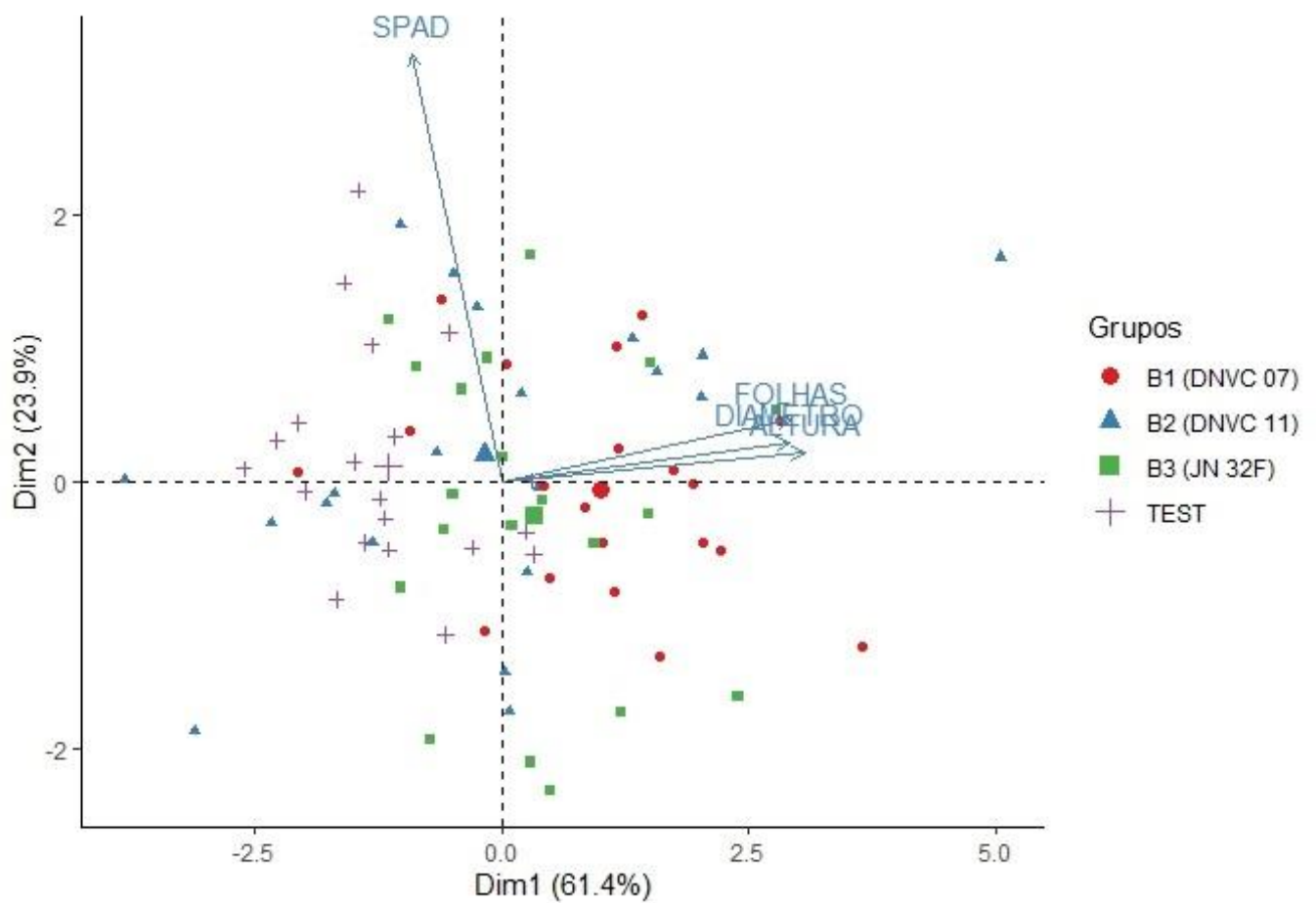


Figura 6. Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais. Fonte: Almeida Filho (2023).

É interessante notar a baixa associação do índice SPAD com os tratamentos investigados, contrastando com as demais variáveis que revelam uma correlação intrínseca com esses tratamentos. A bactéria DNVC07 destaca-se entre as variáveis analisadas, demonstrando um desempenho notavelmente superior como promotora do crescimento das plantas. Esses achados sugerem que a bactéria DNVC07 possui um papel crucial e pode desempenhar um papel significativo em estudos futuros e aplicações práticas.

Os resultados relacionados às bactérias DNVC11 e JN32F mostram uma dispersão, indicando uma associação não tão forte com as variáveis estudadas. Apesar disso, ainda é possível observar uma tendência de correlação entre essas bactérias e os resultados das variáveis, embora menor, quando comparadas à DNVC07. Essa distinção ressalta a importância de se investigar mais profundamente as características e mecanismos dessas bactérias para compreender sua contribuição no contexto do crescimento das plantas.

Em suma, a análise dos componentes principais (PCA) revelou padrões diferentes de associação entre os tratamentos e as variáveis. A identificação das bactérias DNVC07, DNVC11 e JN32F como agentes promotoras de crescimento vegetal potencialmente relevante abre novas perspectivas na pesquisa agrícola, destacando a importância de se investigar sua aplicação em diferentes culturas e condições ambientais.

Diante disso, compreender a interação entre as bactérias promotoras de crescimento e as plantas é fundamental para potencializar a eficiência e a sustentabilidade da silvicultura, impulsionando, assim, avanços significativos na produção e na preservação do meio ambiente.

Conclusões

Em condições de não limitação hídrica, a bactéria DNVC07 apresentou os melhores resultados nas características avaliadas nas plantas de eucalipto.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e pela bolsa concedida.

Referências

Baldani, J. I.; Reis, V. M.; Videira, S. S.; Boddey, L. H.; Baldani, V. L. D. 2014 The

art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and Soil*, v.384, p. 413-431,

Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K., & Singh, V. (2019). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture. *Journal of microbial & Biochemical Technology*, v.11, n.4, p.395-404.

HALL, J. A. et al. Root elongation in various agronomic crops by plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Journal Plant Science*, v.44, n.1, p.37-41, 1996

Jesus, S. V.; Marengo, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*. v. 38, n.4, p.815-818, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400029>

Köppen, W.; Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.

Kuan, K.B., Othman, R., Rahim, K.A., & Shamsuddin, Z.H. (2016). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation to Enhance Vegetative Growth, Nitrogen Fixation and Nitrogen Remobilisation of Maize under Greenhouse Conditions. *PLoS One*, 11(2), e0152478.

Nascimento, C. C.; Ferreira, J. S.; Santos, R. K. A.; Lima, M. C. D.; Ladeia, C. A.; Ávila, J. S.; Almeida Filho, R. L. S. (2020) Desenvolvimento de *Eucalyptus urophylla* submetido à inoculação de bactérias diazotróficas nativas. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.5, p.47287-47304. DOI:10.34117/bjdv7n5-234

Ngugi, M. R.; Hunt, M. A.; Doley, D.; Ryan, P.; Dart, P. (2003). Dry matter production and allocation in *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* seedlings in response to soil water deficits. *New Forests*. v. 26, p.187–200 <https://doi.org/10.1023/A:1024493917483>

Raasch, L. D., Bonaldo, S. M., & Oliveira, A. A. F. (2013). *Bacillus subtilis*: enraizamento e crescimento de miniestacas de eucalipto em Sinop, norte de Mato Grosso. *Bioscience Journal*, v.29, p.1446–1457. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i2.39509>

Rodrigues, V. A., Santos, R. K. A.; Barbosa, A. J. V.; Novais, D. B.; Ferreira, J. S. Isolamento e inoculação de rizobactérias em mudas de *Eucalyptus urophylla*. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, 34 (67): 138- 149, 2019.

Santos, R. K. A.; Ferreira, J. S.; De Paula, R. C.; Rodrigues, V. A.; Silva, V. A. M.

D.; Santos, J. D. S. (2021). Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization in *Eucalyptus urophylla* increase growth. *Holos*, v.2, p. 1-14.

Souza, L. A. G.; Vieira, E. P. (2011) Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*. v. 54, n. 1, p. 52-60.
doi:10.4322/rca.2011.038

ARTIGO III

Potencial de Bactérias Promotoras do Crescimento em Eucalipto sob Estresse
Hídrico em Campo

-
- **Situação:** não submetido

Potential of Growth Promoting Bacteria in Eucalyptus under Water Stress in the Field

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Vitória da Conquista

HIGHLIGHTS:

Plant growth-promoting bacteria are indeed a strategy in combating drought;

The presence of bacteria and the scarcity of water in Cloezian Eucalyptus result in characteristics similar to the lack of bacteria and greater availability of water.

Regression analysis reveals synergistic influence of bacteria and irrigation on root growth of Eucalyptus Cloeziana

Abstract

The growing demand for wood and forest raw materials demands an increase in forestry productivity. In this context, sustainable methods that boost plant growth and development are crucial. This study evaluated the morphology of Eucalyptus cloeziana seedlings subjected to different levels of water stress and inoculated with plant growth promoting bacteria in 0.5 ha of field. A randomized block design was used in a 4 x 5 factorial scheme, with several replications. Five irrigation depths (30%, 60%, 90%, 120% and 150% of crop evapotranspiration) and three growth-promoting bacteria (DNVC07, DNVC11 and JN32F) were tested, in addition to a control. Plant height, stem diameter, fresh and dry mass of shoot and root, length of the main root, root volume and SPAD index were analyzed. Overall, the DNVC07 bacterium demonstrated the greatest increases in growth, particularly in root volume. The bacteria DNVC11 and JN32F also positively influenced growth, but to a lesser degree. It is concluded that the DNVC07 bacterium is the most effective in promoting root growth, and the 90% irrigation depth is the most appropriate, potentiating the effects of growth-promoting bacteria. These results highlight the importance of growth-promoting bacteria in the context of sustainable forestry, paving the way for practices that improve plant productivity and resistance under conditions of water stress.

Keywords: Phytohormones, bacterial isolates, abiotic stress.

Potencial de Bactérias Promotoras do Crescimento em Eucaliptos sob Estresse Hídrico em Campo

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Vitória da Conquista

HIGHLIGHTS:

Bactérias promotoras do crescimento vegetal são, de fato, uma estratégia no combate à seca; A presença de bactérias e a escassez de água em Eucalipto Cloeziana resultam em características semelhantes à falta de bactérias e maior disponibilidade de água.

Análise de regressão revela influência sinérgica de bactérias e irrigação no crescimento radicular do Eucalyptus Cloeziana

RESUMO

A crescente demanda por madeira e matérias-primas florestais exige um aumento na produtividade da silvicultura. Nesse contexto, métodos sustentáveis que impulsionem o crescimento e o desenvolvimento das plantas são cruciais. Este estudo avaliou a morfologia de mudas de Eucalyptus cloeziana, sujeitas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal em 0,5 ha de campo. Utilizou-se um delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 5, com 4 repetições. Cinco lâminas de irrigação (30%, 60%, 90%, 120% e 150% da evapotranspiração da cultura) e três bactérias promotoras do crescimento (DNVC07, DNVC11 e JN32F) foram testadas, além de uma testemunha. Foram analisados altura da planta, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea e raiz, comprimento da raiz principal, volume da raiz e índice SPAD. Globalmente, a bactéria DNVC07 demonstrou os maiores aumentos no crescimento, particularmente no volume radicular. As bactérias DNVC11 e JN32F também influenciaram positivamente o crescimento, mas em menor grau. Conclui-se que a bactéria DNVC07 é a mais eficaz na promoção do crescimento das raízes, e a lâmina de irrigação de 90% é a mais adequada, potencializando os efeitos das bactérias promotoras do crescimento. Esses resultados destacam a importância das bactérias promotoras do crescimento, no contexto da silvicultura sustentável, abrindo caminho para práticas que melhoram a produtividade e a resistência das plantas em condições de estresse hídrico.

Palavras-chave: Fitormônios, isolados bacterianos, estresse abiótico.

Introdução

As restrições hídricas, resultantes das mudanças climáticas, particularmente em relação ao regime de chuvas, têm exercido uma influência significativa na produção agrícola e florestal em todo o mundo. Essa condição é especialmente crítica em áreas vulneráveis, como regiões áridas e semiáridas, colocando em risco a estabilidade dos sistemas produtivos (Daryanto et al., 2017). Diante desse cenário, diversos setores, incluindo a silvicultura, enfrentam o desafio de adaptar-se às mudanças globais provocadas por tais estresses ambientais. A exposição a essas condições adversas pode acarretar alterações na morfologia, fisiologia e bioquímica das plantas, afetando diretamente seu crescimento e, conseqüentemente, a sua produtividade.

Uma estratégia promissora para reduzir os efeitos negativos do estresse ambiental sobre as plantas é o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs). Essas bactérias colonizam as raízes das plantas e se tornam mutualistas com elas. Eles podem melhorar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e reduzir os efeitos prejudiciais do estresse hídrico (Niu et al., 2018).

As Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs) oferecem uma alternativa sustentável e ambientalmente amigável para aumentar a produtividade das culturas, diferenciando-se do uso convencional de fertilizantes químicos que podem acarretar danos ao meio ambiente. Esses microrganismos possuem a capacidade de produzir fitormônios bacterianos e metabólitos associados, os quais estimulam o crescimento das plantas e auxiliam no enfrentamento de doenças e estresses abióticos presentes no solo (Martins et al., 2020; Santos et al., 2021).

As Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs) têm se mostrado eficazes na promoção do crescimento das plantas, especialmente em situações de estresses hídricos. Essa eficácia é atribuída, em parte, à capacidade das BPCVs de sintetizar exopolissacarídeos (EPS), como alginato e celulose, que têm sido associados ao aumento da resistência das plantas à seca. Os exopolissacarídeos desempenham um papel crucial na mitigação dos efeitos adversos do estresse hídrico, tanto para as plantas quanto para as populações microbianas do solo, conforme evidenciado em estudos anteriores (Zahir et al., 2009).

No contexto da interação entre as bactérias promotoras do crescimento e o ambiente do solo, os exopolissacarídeos exercem uma influência significativa. Eles são responsáveis por estabelecer uma zona de ligação entre as bactérias e os sistemas radiculares das plantas, bem como entre as partículas do solo e diferentes comunidades

bacterianas. É relevante destacar que algumas BPCVs produzem EPS, atuando como uma barreira protetora ao redor das raízes, o que contribui para o aprimoramento do crescimento e desenvolvimento da planta (Zheng et al., 2018).

Uma outra forma desses microrganismos agirem é através da regulação de fitormônios, como o ácido indol-3-acético (IAA) e o ácido giberélico (GA 3), zeatina, ácido abscísico e etileno, que mantêm o sistema radicular e, conseqüentemente, aumentam a absorção de água e a disponibilidade de nutrientes (Abdelaal et al., 2021). Esses fitormônios desempenham um papel crucial na manutenção do sistema radicular das plantas, o que resulta em um aumento na absorção de água e na disponibilidade de nutrientes (Abdelaal et al., 2021).

A necessidade de métodos eficientes para reduzir o estresse hídrico em culturas agrícolas é evidenciada pelos desafios associados ao plantio de eucalipto em áreas secas. Devido à sua rápida taxa de crescimento e potencial para produção de madeira, o eucalipto é uma cultura importante em muitas regiões. No entanto, o cultivo bem-sucedido do eucalipto em locais áridos e semiáridos depende de água. A implementação de BPCVs nesses sistemas pode ser um método promissor para melhorar a sobrevivência e o crescimento do eucalipto nesses ambientes áridos.

Estudos mostram que as BPCVs podem melhorar a relação planta-água e o estado nutricional das plantas. Além disso, é possível que as BPCVs melhorem o uso da água pelas plantas, reduzindo a transpiração excessiva e reduzindo a perda de água por evapotranspiração (Vurukonda et al., 2016). Devido a esses mecanismos, as plantas podem se adaptar a condições de estresse hídrico e manter o crescimento e a produtividade mesmo em condições adversas.

Este estudo melhora nossa compreensão dos mecanismos pelos quais as BPCVs podem melhorar a produtividade da eucaliptocultura e reduzir o estresse hídrico. Além disso, enfatiza a possibilidade dessas bactérias servirem como uma alternativa ao uso amplo de fertilizantes químicos. A pesquisa sobre estratégias baseadas em biotecnologia, como o uso de BPCVs, é essencial para promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e enfrentar os desafios agrícolas causados pela mudança climática global.

O objetivo deste estudo é avaliar a morfologia de mudas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal

Metodologia

O experimento foi conduzido em duas etapas. A primeira etapa foi conduzida no

laboratório de Microbiologia do solo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e a segunda etapa em uma área de campo, na área campus experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, na cidade de Vitória da Conquista. A região possui um clima classificado como tropical de altitude (Cbw), de acordo com a classificação de Köppen (1928).

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a maio de 2023, em uma área experimental de aproximadamente 0,5 hectares. Foram utilizados clones de *Eucalyptus cloeziana*, que foram plantados em espaçamento comercial de 3 x 3 metros, com covas de aproximadamente 50 centímetros de profundidade para garantir a cobertura adequada do substrato.

O solo característico da área experimental é classificado como franco argiloso, de acordo com a classe textural. A análise química do solo revelou que as características do solo são favoráveis ao desenvolvimento da cultura, não necessitando de correção química, conforme Ribeiro et al. (1999).

As bactérias utilizadas no experimento foram extraídas a partir de mudas de *Eucalyptus* sp., utilizando a técnica proposta por Baldani et al. (2014) para o isolamento de microrganismos em espécies não leguminosas.

As bactérias encontravam-se armazenadas na Universidade e, para utilizá-las, foi necessário reativá-las. Para isso, retirou-se uma parte do estoque de cada isolado e transferiu-se para tubos de ensaio contendo 5 mL do meio de cultura líquido DYGS. Os tubos foram incubados a 30°C, por 48 horas, para avaliar o crescimento e a pureza das bactérias, conforme relatado por Baldani et al. (2014).

O inoculante líquido foi preparado com DYGS, utilizando-se colônias consideradas puras. Fez-se a contagem dos materiais que desenvolveram as características de película, selecionando o material mais puro e livre de possíveis contaminações. Em seguida, realizaram-se diluições seriadas até alcançar uma concentração de 1×10^9 UFC mL⁻¹ para determinar a população de cada bactéria inoculada. Após as diluições, transferiu-se um mililitro da suspensão de cada diluição para os tubos de ensaio.

Uma última etapa de repicagem das culturas bacterianas em meio de ágar foi realizada para verificar o crescimento e o desenvolvimento das colônias. Por fim, os isolados bacterianos foram produzidos em meio de cultura DYGS, a fim de obter o inoculante líquido que seria utilizado no campo, conforme descrito por Baldani et al. (2014). Em cada planta, foram inoculados 3 mililitros do inoculante líquido contendo as colônias bacterianas.

As mudas de *Eucalyptus cloeziana* foram plantadas em outubro de 2022, na área experimental, o que significa que tinham aproximadamente 8 meses de idade no fim do experimento em maio de 2023. Os tratamentos com as lâminas de água só foram aplicados ao fim do período chuvoso (Figura 1), que se deu a partir de fevereiro.

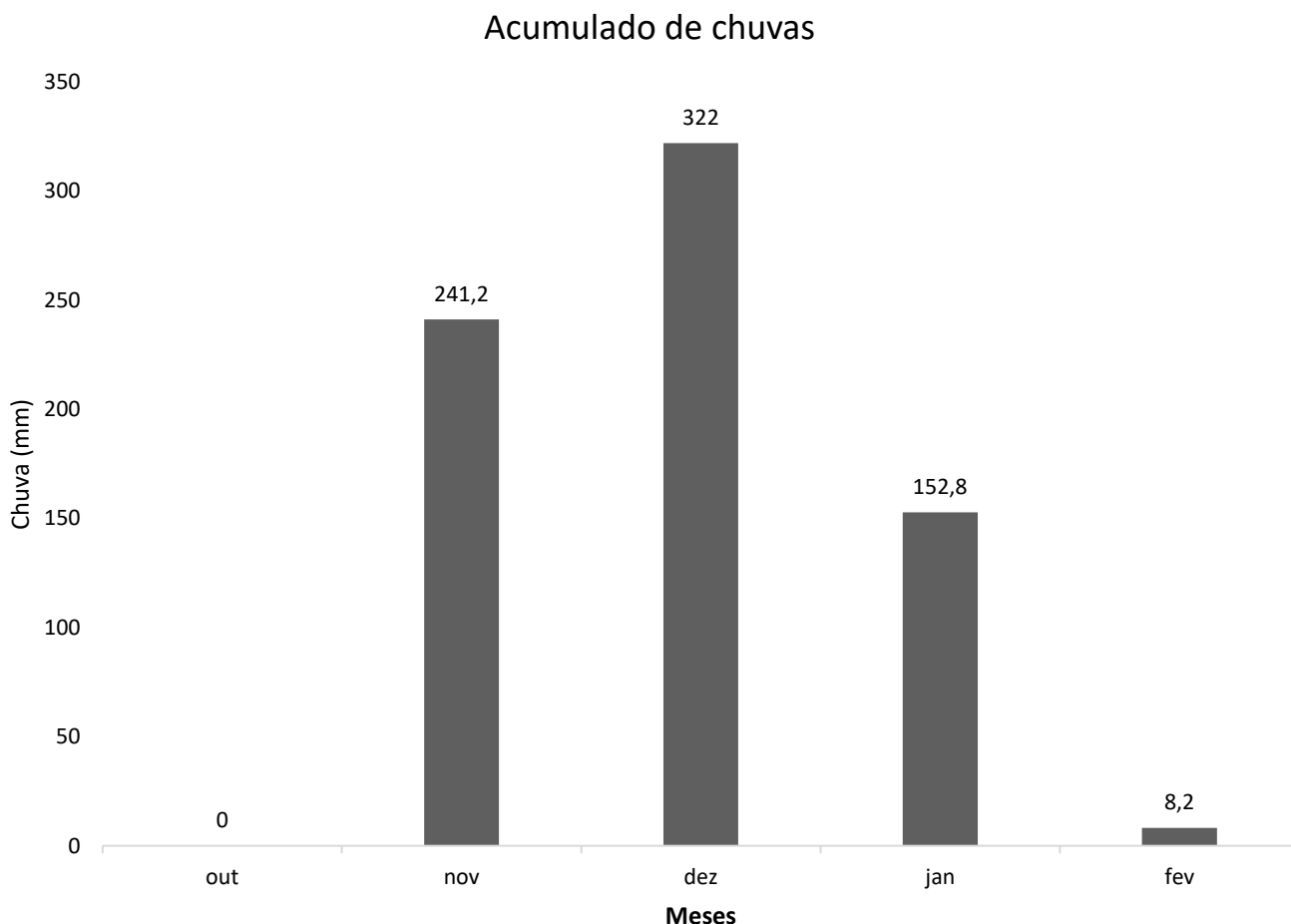


Figura 1: Precipitação acumulada durante os meses de outubro a fevereiro, na cidade de Vitória da Conquista – Bahia.

Além do grupo controle, que consistia apenas no meio de cultura DYGS, foram utilizadas três estirpes bacterianas em ambas as inoculações (B1 = DNVC07, B2 = DNVC11 e B3 = JN32F). Essas estirpes bacterianas foram selecionadas com base em estudos anteriores, que demonstraram seu sucesso no melhoramento do crescimento das plantas de eucalipto e foram isoladas de mudas desse gênero e mantidas no laboratório de Biotecnologia Florestal.

Com o objetivo de avaliar o potencial das bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCVs) na mitigação do estresse hídrico, especialmente em regiões áridas, foi realizado o controle da irrigação das plantas com base na taxa de perda de água por

evapotranspiração.

O manejo da irrigação foi conduzido utilizando dados fornecidos pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que estava instalada na área experimental. Essa estação foi responsável pela medição das variáveis climáticas usadas na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada com o programa Ref-ET, que processa os dados climáticos diários e utiliza o método de Penman-Monteith-FAO 56 para estimar a evapotranspiração de referência. Com base nesses dados, foi determinada a evapotranspiração da cultura (ET_c), considerando as características específicas da cultura em estudo, conforme descrito por Allen et al. (1998).

Isso permitiu controlar de forma precisa a quantidade de água fornecida às plantas, levando em consideração suas necessidades específicas em relação à evapotranspiração. Dessa forma, foi possível simular as condições de estresse hídrico e avaliar o impacto das BPCVs no desempenho das plantas sob essas condições.

No experimento, foram estabelecidas cinco diferentes lâminas de água com base na evapotranspiração da cultura (ET_c). Essas lâminas corresponderam a 30%, 60%, 90%, 120% e 150% da ET_c calculada. Essas diferentes lâminas de água foram combinadas com as bactérias promotoras do crescimento vegetal (B1 = DNVC07, B2 = DNVC11, B3 = JN32F e Testemunha sem inoculação) em um delineamento experimental em blocos casualizados, num fatorial 5 x 4, com 4 repetições, totalizando 80 parcelas experimentais. Cada parcela recebeu uma planta.

Após 120 dias de experimento da segunda inoculação, foram realizadas as avaliações da altura das plantas e do diâmetro do caule. Essas medidas foram obtidas utilizando uma régua graduada e um paquímetro digital. Em seguida, as folhas e os galhos foram removidos das plantas, embalados em sacos plásticos de 100 litros e transportados diretamente ao Laboratório de Biotecnologia Florestal para a realização da pesagem, utilizando uma balança digital. Esse procedimento também foi aplicado às raízes, quando a raiz principal e toda a rizosfera de cada planta foram retiradas e encaminhadas ao laboratório para as medições necessárias.

O índice SPAD também foi coletado. Sua medição foi realizada no dia da retirada do experimento, no período entre 09h30min e 11h00min da manhã, utilizando um clorofilômetro portátil do modelo SPAD-502 Plus, da marca Konica Minolta®. Para essa medição, foi selecionada uma folha completamente desenvolvida na parte média da planta e realizaram-se três leituras para obtenção do valor médio. Após esse processo

inicial, as amostras já identificadas foram levadas para a estufa do próprio laboratório, a uma temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$, até atingir peso constante.

Após esse período, as amostras foram novamente pesadas para a obtenção do peso seco das raízes e da parte aérea, além de terem sido escaneadas digitalmente, utilizando-se o software Safira para a obtenção do volume das raízes.

Dessa forma, foram obtidas as seguintes variáveis morfológicas: Altura, diâmetro, SPAD, Massa fresca da parte aérea, Massa seca da parte aérea, Massa fresca da raiz, Massa seca da raiz, comprimento da raiz principal e volume das raízes.

Os pressupostos sobre os resíduos foram verificados por meio dos testes de Normalidade (Shapiro-Wilk) e Homogeneidade (Bartlett), antes de proceder à análise de variância. Para o fator quantitativo, foi realizada uma análise de regressão, levando em consideração a significância dos coeficientes da regressão e o coeficiente de determinação para a escolha dos modelos adequados. Para o fator qualitativo, aplicou-se o teste de média Tukey, adotando um nível de significância de 5% de probabilidade, dentro de cada lâmina utilizada.

Para se obter uma melhor compreensão das respostas observadas e agrupar os valores das variáveis, foi realizada uma análise multivariada de componentes principais (PCA) ao final do estudo. Essa análise foi aplicada com o objetivo de explorar a estrutura de correlação entre as variáveis e identificar padrões ou agrupamentos nos dados obtidos.

Resultados e Discussão

A análise estatística revelou que a interação entre os fatores foi significativa apenas para a variável volume. Já analisando os fatores isoladamente, houve significância para as Lâminas em todas as variáveis, exceto para a Massa Fresca da parte aérea, Massa Seca da parte aérea e índice SPAD. Para as bactérias houve significância para todas as variáveis com exceção da Massa Fresca da Parte Aérea e o Índice SPAD (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e coeficientes de variação (CV) em relação à altura de planta (alt), diâmetro do colo (Dia), Massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa seca da parte aérea (MSPA), Massa fresca da Raiz (MFR), Massa seca da raiz (MSR), Volume da raiz (Vol), comprimento da raiz principal (COMP) e índice SPAD (SPAD), em mudas de *Eucalyptus cloeziana*, produzidas em campo e submetidas a diferentes regimes hídricos.

FV	GL	Quadrado médio									
		Alt	Dia	MFPA	MSPA	MFR	MSR	Vol	COMP	SPAD	

Lâmina (L)	4	7076*	266,3*	8788834 ns	416185 ns	47090 ^{ns}	26806*	5452,5*	448,05*	44,01 ^{ns}
Bactéria(B)	3	1725*	78,95*	3823783 *	103555 *	3356,5*	13296*	20016,3*	1715,3*	47,85 ^{ns}
Bloco	3	336 ^{ns}	108,2*	173056 ^{ns}	145750 ns	16732*	8283*	666 ^{ns}	181,13 ^{ns}	55,31 ^{ns}
(L) x (B)	12	434,83 ^{ns}	44,17 ^{ns}	184350 ^{ns}	30678,6 ns	5059,6 ^{ns}	2912 ^{ns}	3320,75*	77,9 ^{ns}	27,58 ^{ns}
Resíduo	57	483,87	29,37	407441	84960,8	5327,14	2597	58,25	111,47	32,7 ^{ns}
CV (%)	-	10,07	12,86	26,59	27,83	32,03	32,44	13,23	9,9	11,98

*Significativo ($p \leq 0,05$)

A análise de regressão, para o fator Lâmina, revelou que apenas as bactérias DNVC11 e DNVC07 apresentaram regressões significativas, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,7587 e 0,9834, respectivamente. Isso indica que essas bactérias têm uma relação mais forte com a altura das plantas em comparação com as outras.

O modelo quadrático se ajustou para ambas as bactérias, obtendo-se valores máximos de lâmina de irrigação de 102,79% e 147,41% para as bactérias DNVC07 e DNVC11, respectivamente. Isso proporcionou uma altura máxima de 225,64 cm, para a bactéria DNVC07; e 228,64 cm, para a bactéria DNVC11. A testemunha também obteve seu ajuste, com R^2 de 0,97 (Figura 2).

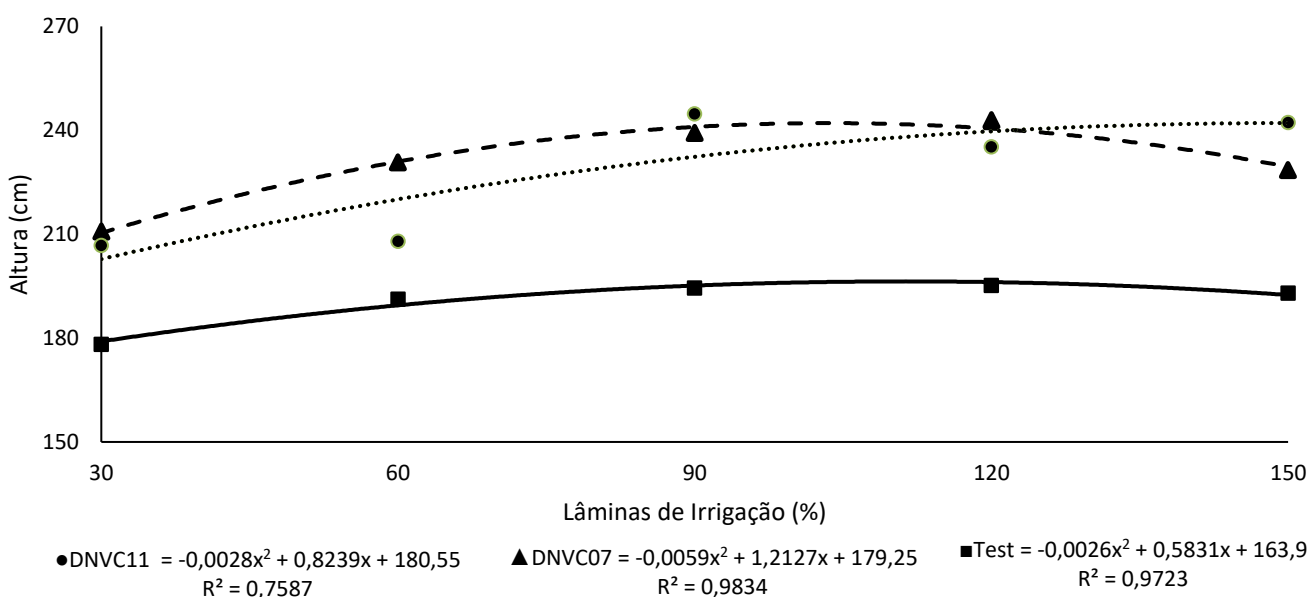


Figura 2. Altura de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob diferentes lâminas de irrigação.

A análise de regressão revelou resultados promissores para o uso das bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCVs) em plantas de eucalipto sob diferentes níveis de estresse hídrico. Notavelmente, todas as BPCVs demonstraram um efeito positivo na altura das plantas em suas respectivas lâminas de irrigação. No entanto, o que chama a atenção é a diferença significativa observada nas lâminas de irrigação mais baixas, quando comparadas ao tratamento sem inoculação.

Nas lâminas de 30% e 60%, as plantas tratadas com as BPCVs apresentaram valores de altura notavelmente superiores aos do tratamento sem inoculação, mesmo em condições de menor disponibilidade de água. Esses resultados são extremamente relevantes, especialmente em regiões áridas ou semiáridas, onde a escassez de água pode ser um desafio significativo para a produção de culturas.

Para produtores rurais e empresas do setor florestal, os dados obtidos sugerem que a aplicação de BPCVs pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a produtividade das plantações de eucalipto, mesmo em condições de estresse hídrico. Ao promover um crescimento mais vigoroso das plantas em lâminas de irrigação mais baixas, as BPCVs podem reduzir a dependência de recursos hídricos e aumentar a eficiência no uso da água. Isso pode ser especialmente benéfico em regiões onde a disponibilidade de água é limitada e a agricultura enfrenta desafios significativos, devido às mudanças climáticas.

Os resultados da análise estatística da variável altura revelaram diferenças significativas entre as bactérias estudadas, fornecendo informações valiosas para o entendimento dos fatores que influenciam o crescimento das plantas. Observa-se que todas as bactérias (B1 = DNVC07, B2 = DNVC11 e B3 = JN32F) apresentaram médias de altura estatisticamente iguais entre si ($p < 0,05$), de acordo com o teste de Tukey. No entanto, o tratamento sem inoculação apresentou uma altura significativamente menor em comparação com as bactérias inoculadas (Figura 3).

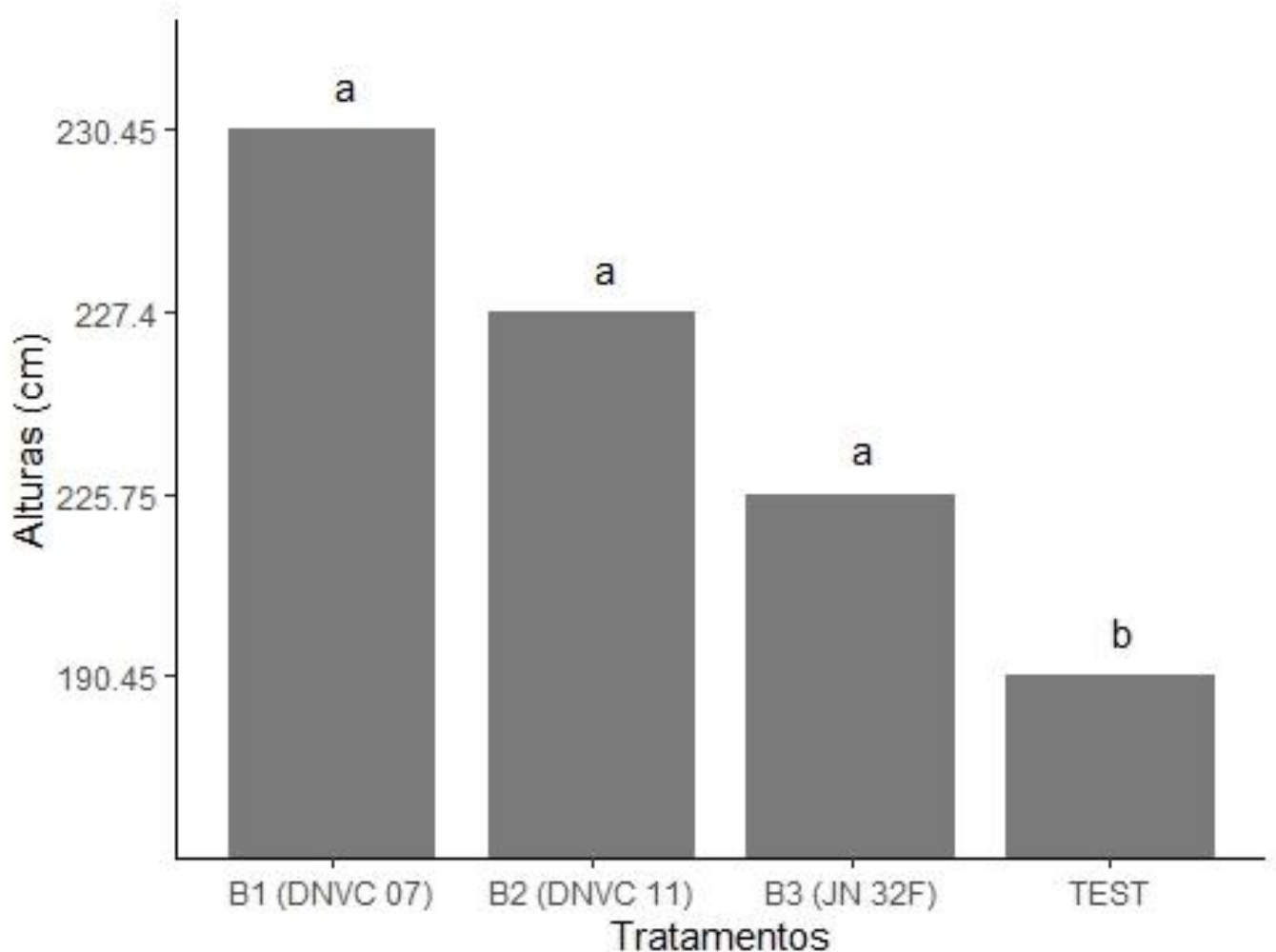


Figura 3. Altura de planta de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Entre as bactérias inoculadas, a bactéria DNVC07 obteve os maiores incrementos em altura, com um valor médio de 21% em relação à testemunha. Em segundo lugar, a bactéria B2 apresentou um incremento médio de 19,4%, seguida pela bactéria JN32F, com 18,5% de incremento. Esses resultados indicam que as bactérias inoculadas têm um efeito positivo no crescimento das plantas em comparação com as plantas não inoculadas.

Considerando os resultados obtidos, é possível destacar a bactéria DNVC07 como a mais promissora para o manejo do crescimento das plantas, pois, além de promover um maior incremento em altura, ela também requer uma menor quantidade de água em comparação com a bactéria B2. Isso é particularmente relevante para regiões secas, onde a otimização do uso da água é fundamental.

De acordo com Ali et al. (2020), a disponibilidade hídrica exerce um papel crucial sobre a abertura estomática, diminuindo a absorção e fixação de CO₂, o que afeta

diretamente o crescimento das plantas e a produção de biomassa. A escassez de água no solo resulta no aumento extremo na formação de espécies reativas de oxigênio, fazendo com que a planta entre em estado de estresse oxidativo (Gupta et al., 2020). Todos esses processos impactam em assimilação fotossintética e, conseqüentemente, interrompem o crescimento das plantas e reduzem a produtividade.

Em concordância com essas informações, estudos como o de Vellini (2008) relataram um menor crescimento em clones de eucalipto submetidos à irrigação a cada seis dias em comparação com aqueles irrigados diariamente. Esses resultados corroboram este estudo, em que as plantas que receberam maior quantidade de água apresentaram melhor desempenho em relação à altura.

Esses resultados destacam a relevância das BPCV como estratégia promissora no manejo do estresse hídrico em plantas, possibilitando um melhor desempenho em termos de crescimento e desenvolvimento vegetal. Além disso, enfatizam a importância do manejo adequado da disponibilidade hídrica no solo para otimizar o crescimento das plantas e a produtividade.

Para a variável diâmetro, verificou-se que a interação entre os fatores não foi significativa, entretanto, houve significância para os fatores isolados.

Em relação ao fator Lâmina, nenhum dos modelos se encaixa adequadamente nos critérios estabelecidos por este estudo. A bactéria DNVC11 até teve um modelo com $R^2 > 0,5$, contudo, houve um crescimento contínuo e alto do diâmetro nas lâminas maiores, o que não se estabelece como coerente (Figura 4).

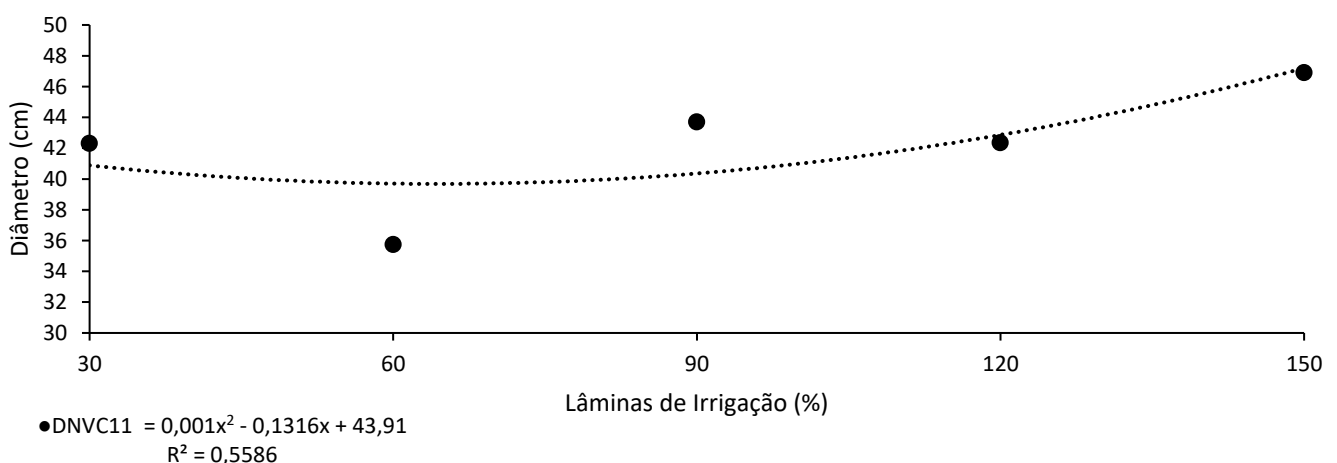


Figura 4. Diâmetro de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Esses resultados também já foram encontrados em outros estudos, Silva et al. (2015)

observaram maiores valores diâmetros, quando aplicadas lâminas de água superiores.

Ao analisar os efeitos das bactérias sobre o diâmetro das plantas, observa-se que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias das bactérias DNVC07, DNVC11 e JN32F, ($p > 0,05$), conforme evidenciado pelo teste de Tukey. No entanto, é importante destacar que os tratamentos sem inoculação bacteriana apresentaram uma média de diâmetro significativamente menor em comparação com os demais tratamentos ($p < 0,05$) (Figura 5).

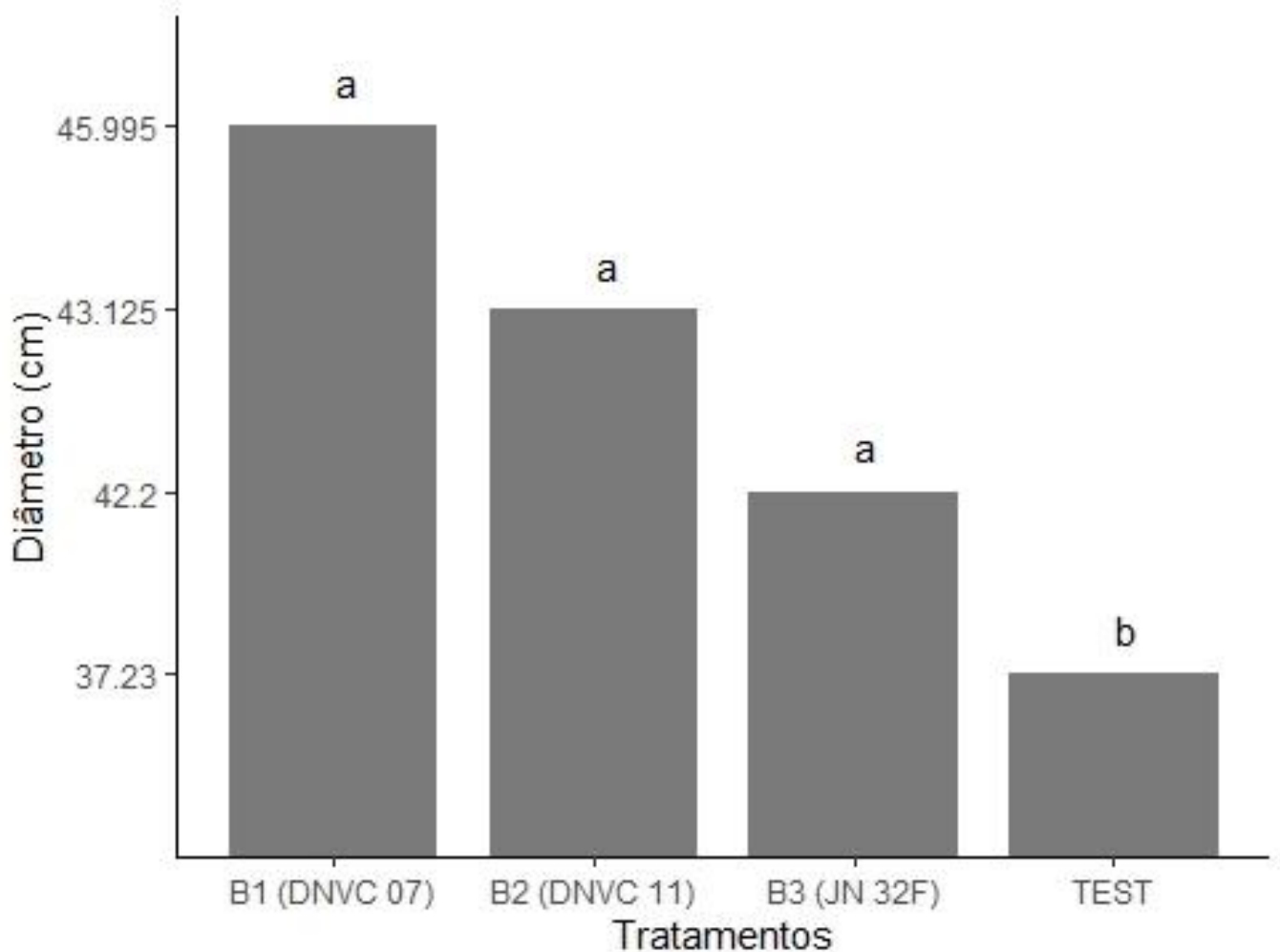


Figura 5. Diâmetros de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Os resultados obtidos para o diâmetro das plantas, em resposta às diferentes bactérias, revelaram incrementos significativos no crescimento das mudas. A bactéria DNVC07 demonstrou um aumento expressivo de 23,5% em relação ao tratamento testemunha, seguida pela bactéria B2, com um incremento de 15,8%; e pela bactéria JN32F; com um incremento de 13,3%. Esses resultados são consistentes com os resultados encontrados

para a variável altura, indicando uma tendência semelhante de aumento nas medidas de crescimento das plantas.

Rodrigues et al. (2019) realizaram um estudo com o objetivo de isolar, caracterizar e avaliar o efeito de bactérias promotoras do crescimento vegetal em mudas de eucalipto. Os resultados mostraram incrementos de diâmetro entre 13% e 22% em resposta à inoculação de diferentes bactérias. Esses achados corroboram nossos resultados, indicando que a inoculação de bactérias benéficas pode promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Além disso, Souza et al. (2011) conduziram experimentos com a inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal em mudas de *Swartzia argentea* e *S. laevicarpa*. Os resultados demonstraram um aumento significativo no diâmetro das plantas após a inoculação com as bactérias, reforçando a capacidade desses microrganismos em estimular o crescimento das mudas.

Para a variável Massa Fresca da Parte aérea, houve significância apenas para o fator bactéria, com o tratamento sem inoculação sendo inferior aos demais, segundo o teste Tukey ($p < 0,05$) (Figura 6).

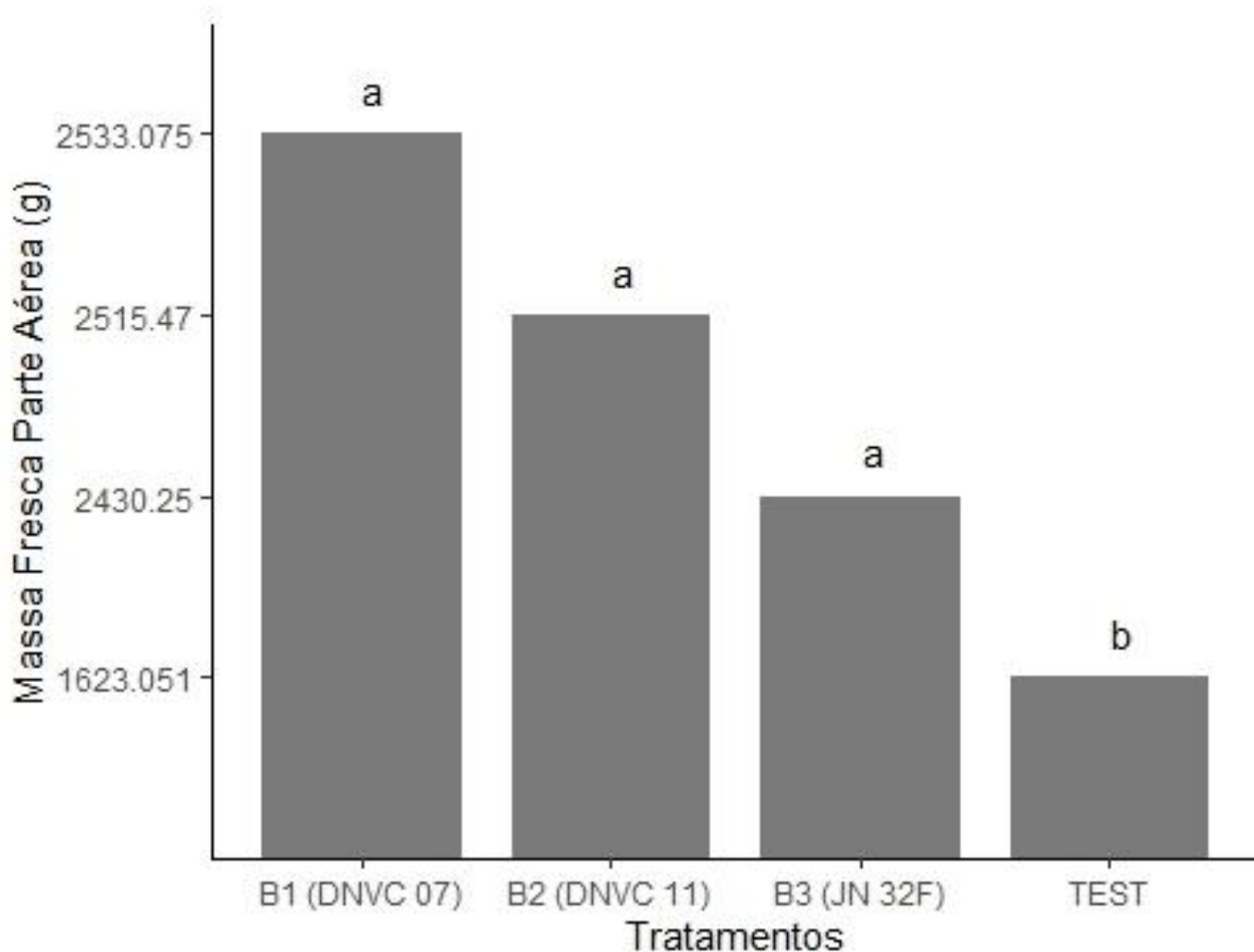


Figura 6. Massa Fresca da Parte Aérea de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Para a variável Massa Seca da Parte aérea, o fator Lâmina não foi significativo, diferindo-se do fator Bactérias que teve um efeito significativo.

Os resultados revelaram que não houve diferenças significativas entre as bactérias, entretanto, a bactéria JN32F não se diferiu do tratamento sem inoculação, o que difere do padrão encontrado para as variáveis Altura e Diâmetro e MFPA (Figura 7).

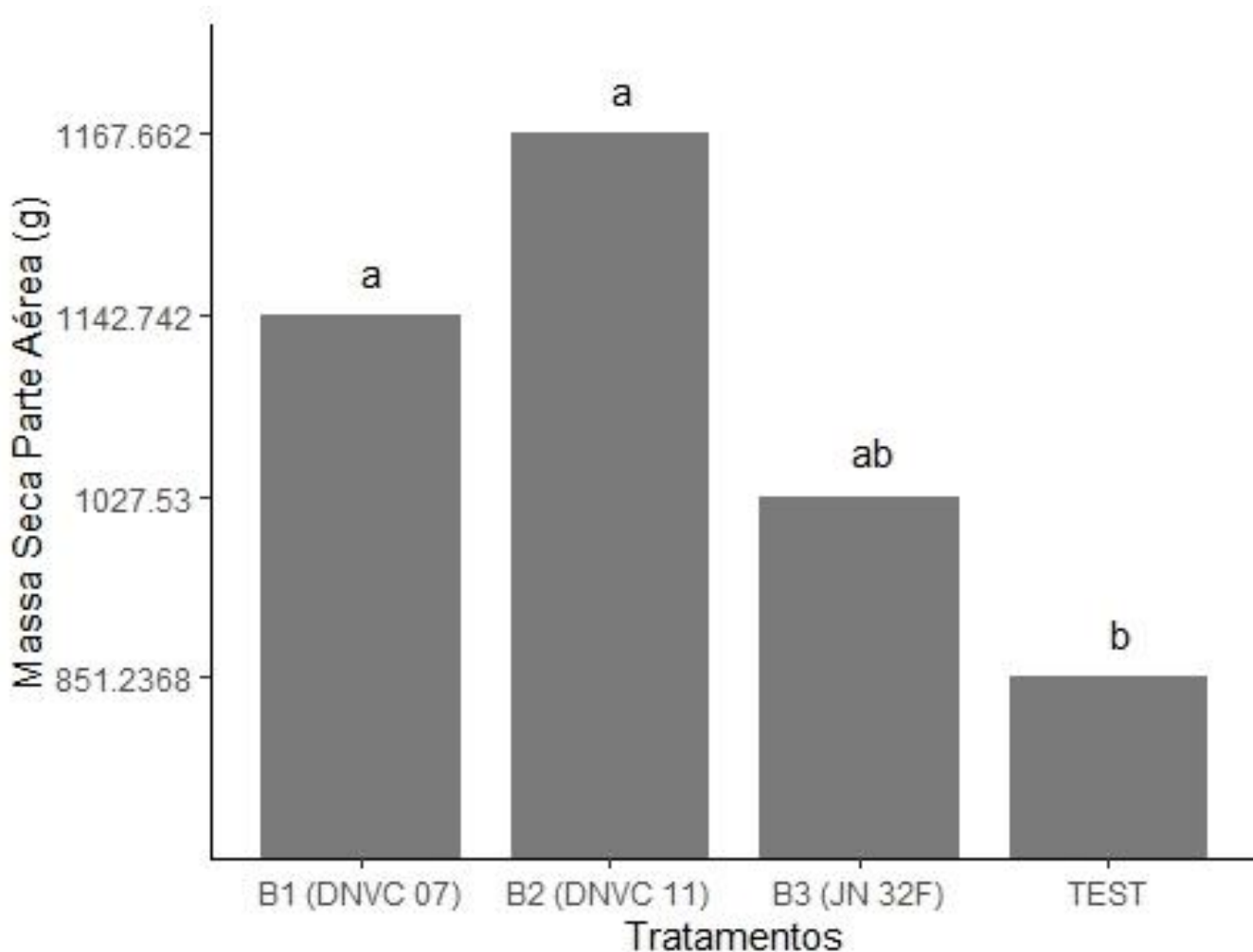


Figura 7. Massa Seca da Parte Aérea de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Para a massa seca da parte aérea, a bactéria DNVC11 apresentou a maior média, com valor de 1167,66 gramas; seguida pela bactéria DNVC07, com uma média de 1142,74 gramas; e a bactéria JN32F, com uma média de 1027,53 gramas. Esses resultados indicam um aumento de 37,1%, 34,2% e 20,7% na massa seca da parte aérea em relação à testemunha, respectivamente.

É evidente, de acordo com os resultados obtidos, que os tratamentos que apresentaram maiores médias de altura e diâmetro também exibiram maior peso fresco e peso seco da parte aérea das plantas. Essa relação pode ser atribuída à ação das bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV), que provavelmente estimularam a produção de hormônios vegetais, promovendo o crescimento e aumentando o peso da biomassa (ALKahtani et al., 2020). Essa associação entre o crescimento das plantas e o aumento de biomassa já foi relatada em estudos anteriores. Por exemplo, Brunetta et al. (2010) constataram um aumento significativo na massa seca com o uso de rizobactérias em

Pinus taeda.

Essas descobertas confirmam os achados do estudo anterior e enfatizam o papel que as bactérias promotoras do crescimento vegetal desempenham na promoção do crescimento das plantas. A produção de fitormônios, fixação de nitrogênio e solubilização de nutrientes no solo são algumas das várias maneiras pelas quais essas bactérias podem estimular o crescimento da biomassa. Como resultado, a implementação estratégica de BPCV pode ser um método promissor para aumentar o crescimento e a produção de plantas, ao mesmo tempo em que oferece vantagens para a silvicultura e a agricultura.

Em relação à Massa fresca da raiz, não foi observada nenhuma interação significativa entre os fatores Bactéria e Lâmina. O fator Bactéria demonstrou ter um efeito significativo sobre a massa fresca da raiz das plantas ($p < 0,05$), ocorrendo comportamento contrário para o fator Lâmina.

Observando as médias das bactérias, observa-se que a bactéria JN32F foi a que apresentou maiores incrementos de massa fresca em relação ao tratamento sem inoculação, pelo Teste Tukey, a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) (Figura 8).

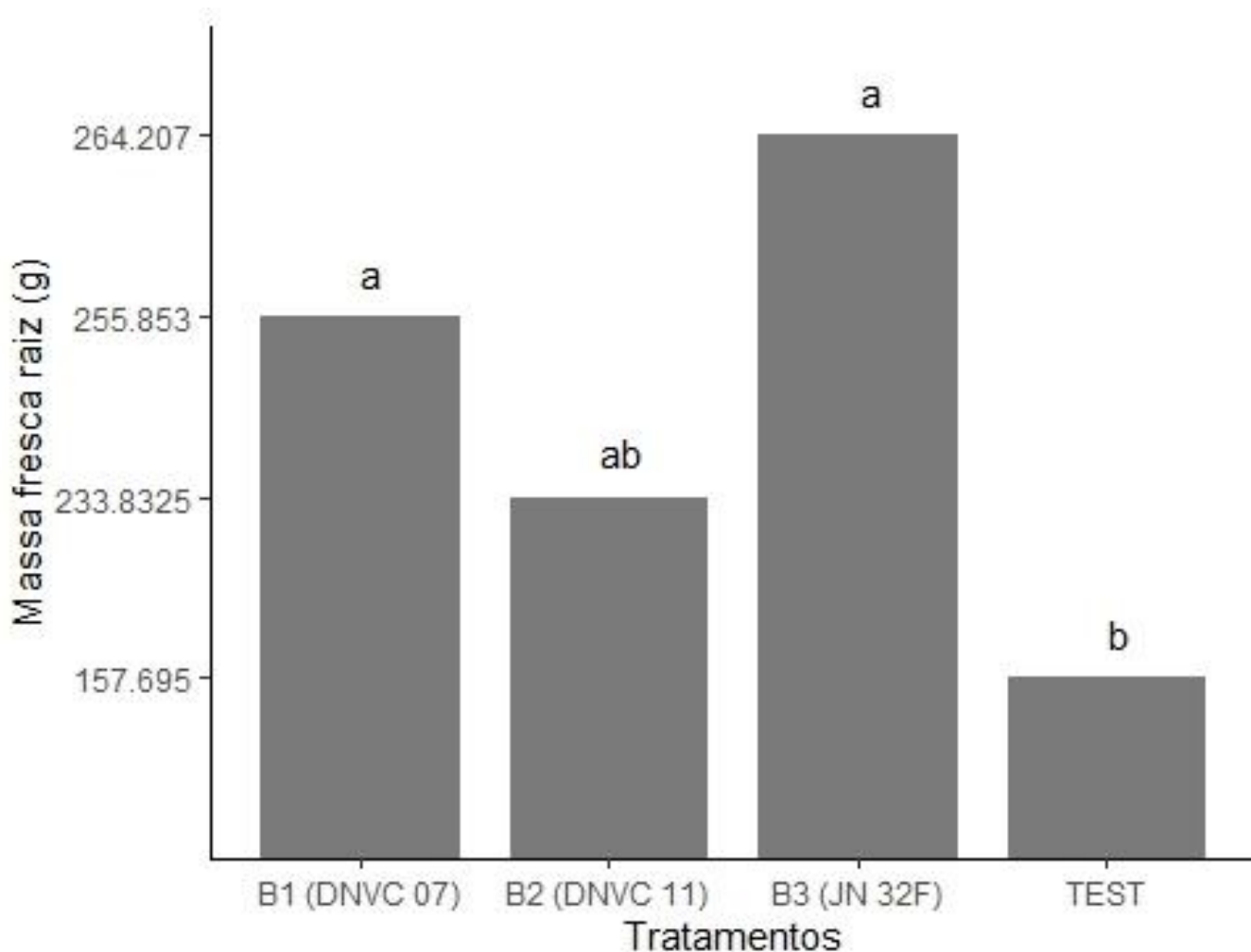


Figura 8. Massa Fresca da Raiz de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

A bactéria JN32F apresentou a maior média da massa fresca da raiz, com um valor médio de 264,2 g, representando um aumento de 67,5% em relação ao tratamento testemunha, que teve uma média de 157,7 g. Em segundo lugar, a bactéria DNVC07 mostrou uma média de 255,8 g, representando um incremento de 62,2%. A bactéria DNVC11 apresentou uma média de 233,83 g, representando um incremento de 48,2% em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 8, encontra-se o comportamento da massa seca da raiz em função dos tratamentos empregados, verificando-se que, para as bactérias DNVC07, DNVC11 e JN32F, o modelo quadrático foi o mais adequado (Figura 9).

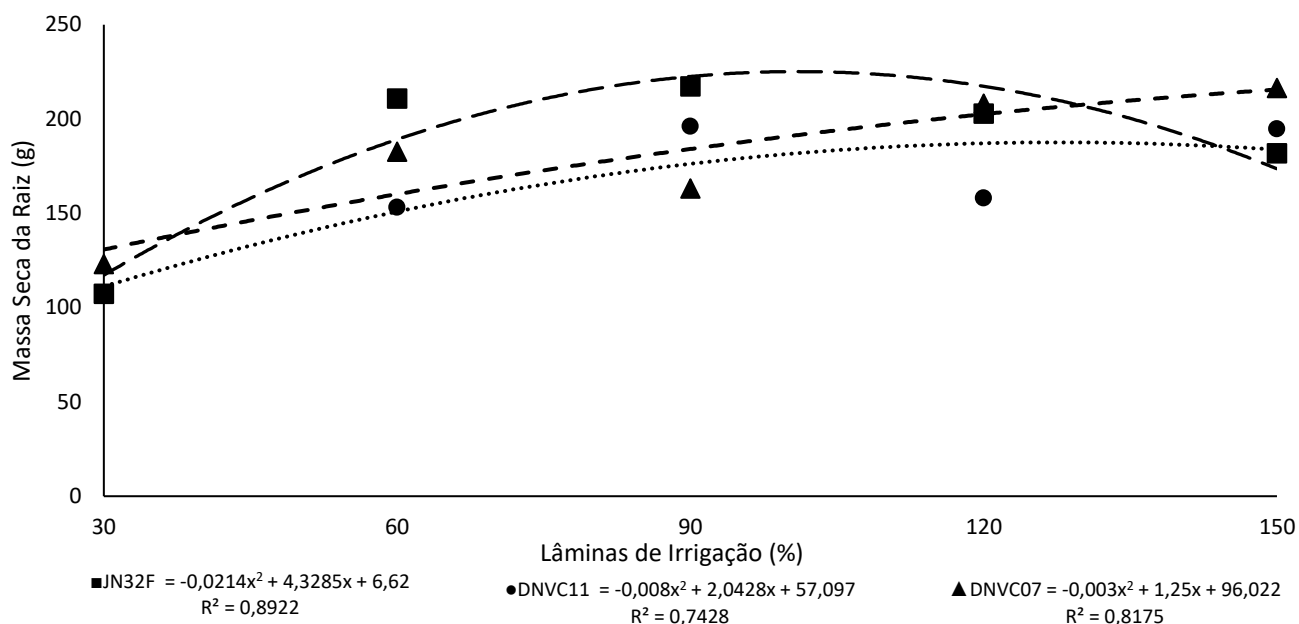


Figura 9. Massa Seca da Raiz de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Verifica-se que a bactéria DNVC07, DNVC11 e JN32F apresentaram valor médio de biomassa seca da raiz de 226g, 187g e 225 g, respectivamente, sendo as bactérias DNVC07 e JN32F a mais eficiente no ganho de massa seca de raiz. A lâmina de 101,23% foi identificada como a mais adequada para a bactéria JN32F, enquanto a lâmina de 127% foi a mais adequada para a bactéria DNVC11 e a lâmina de 226% para a bactéria DNVC07.

Ao comparar os valores obtidos na testemunha, observou-se que o maior valor de biomassa seca da raiz foi de 149g, obtido com uma lâmina de 120%. Isso evidencia o impacto positivo da aplicação das bactérias na promoção do crescimento da biomassa seca da raiz. Em relação à testemunha, houve um aumento significativo de 51,1% na biomassa seca da raiz com a bactéria DNVC07. No entanto, esse incremento só foi alcançado em condições de irrigação com uma lâmina de 226%, o que pode não ser viável em regiões com clima seco.

Para as bactérias JN32F e DNVC11, foram observados incrementos de 51% e 25% na biomassa seca da raiz, respectivamente, em lâminas de irrigação de 101,23% e 127%. Esses resultados indicam que a inoculação das bactérias JN32F e DNVC11, em mudas de *Eucalyptus cloeziana*, pode levar a valores significativamente maiores no peso seco da raiz em comparação com plantas não inoculadas, mesmo quando se utiliza lâminas de água próximas a exigências da Cultura.

Esses resultados reforçam a importância da inoculação de BPCV na produção de

mudas de *Eucalypto cloeziana*, uma vez que o aumento da biomassa seca da raiz está diretamente relacionado ao desenvolvimento e crescimento saudável das plantas.

Conforme demonstrado pelo teste de Tukey, observamos que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as médias das bactérias DNVC07, DNVC11 e JN32F ($p > 0,05$). Entretanto, a biomassa seca da raiz média dos tratamentos sem inoculação bacteriana foi significativamente menor em comparação com os demais tratamentos (Figura 10).

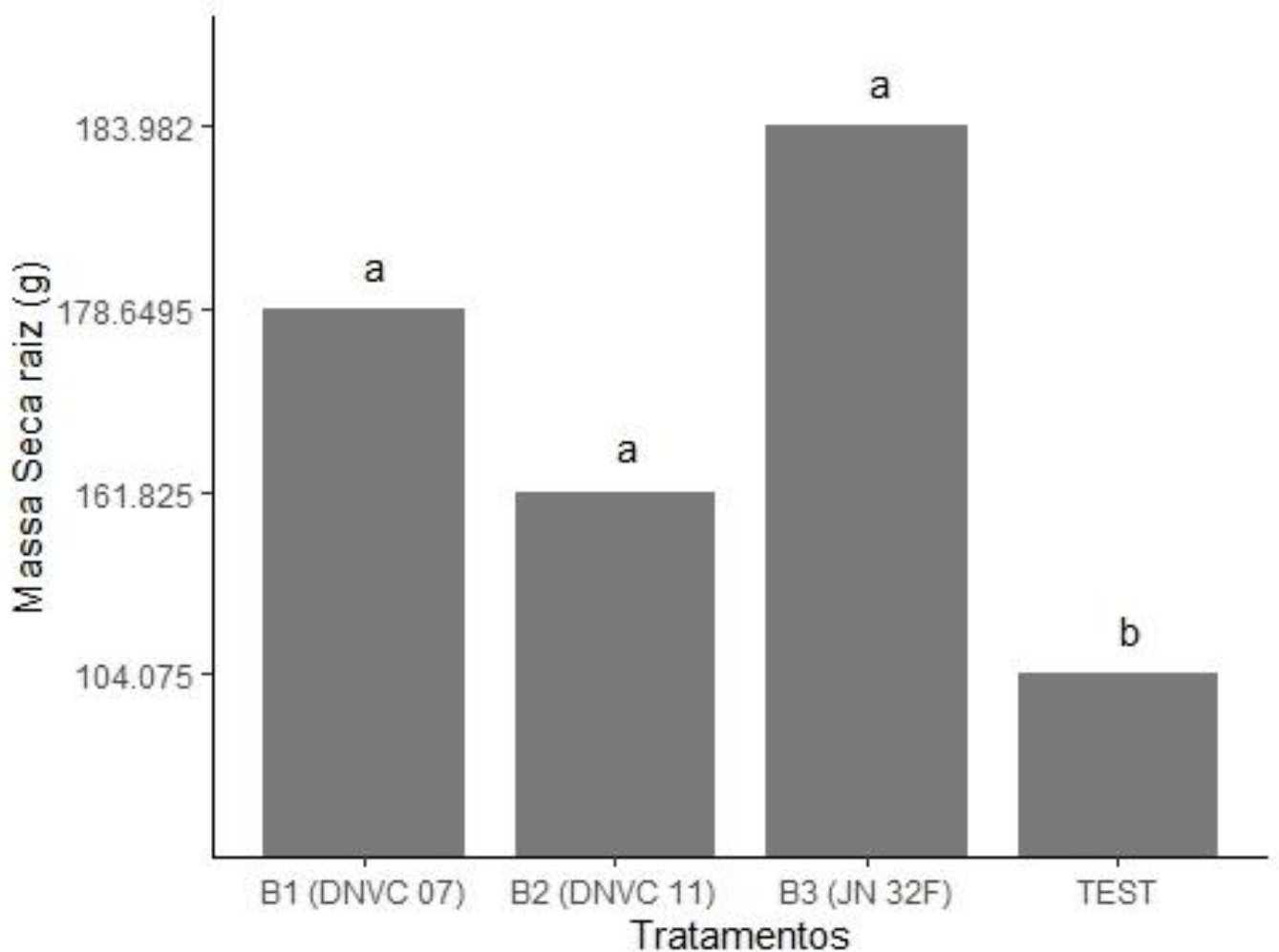


Figura 10. Massa Seca da Raiz de *Eucalypto cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

A disponibilidade adequada de água desempenha um papel crucial no transporte de nutrientes e no funcionamento metabólico das plantas. A quantidade apropriada de água no solo exerce influência direta no crescimento das raízes e, por consequência, na biomassa seca da raiz. O manejo adequado das lâminas de irrigação assegura a disponibilidade de água necessária para que as plantas absorvam nutrientes e realizem suas atividades metabólicas de forma eficiente.

Neste estudo, observou-se que, mesmo em condições de lâminas de água relativamente baixas, as plantas não apresentaram morte ou murchamento, indicando que o potencial hídrico foliar se manteve em um nível que permitiu a continuidade do fluxo solo-planta-atmosfera. Esse resultado é corroborado pela morfologia satisfatória das plantas, mesmo sob lâminas de água reduzidas. Tal observação sugere que, em determinadas situações, a quantidade de água disponível no solo foi suficiente para suprir as demandas hídricas das plantas e manter seu crescimento.

O aumento observado na massa seca da raiz, em todas as bactérias inoculadas, pode ser atribuído, em parte, à ação do hormônio vegetal ácido indolacético (AIA), que é produzido por muitas Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs). O AIA é conhecido por estimular o crescimento radicular, resultando em uma arquitetura radicular mais desenvolvida, com maior área e comprimento. Essa melhoria na estrutura das raízes contribui para uma maior absorção de nutrientes, pois aumenta a superfície de contato entre as raízes e o solo, facilitando os processos de difusão, fluxo de massa e interceptação de nutrientes (Taiz & Zeiger, 2016).

Além do AIA, as BPCVs também produzem outros hormônios de crescimento vegetal, como giberelinas e citocininas, que contribuem para as melhorias observadas nos caracteres de crescimento das plantas. As giberelinas estão associadas ao alongamento das células vegetais, estimulando o crescimento e a expansão, tanto das raízes quanto da parte aérea das plantas. Já as citocininas desempenham um papel importante no controle do desenvolvimento de folhas e brotos laterais, promovendo a divisão celular e a formação de novos tecidos vegetais (Tiwari, 2020).

A análise de regressão para o comprimento da raiz revelou que apenas as bactérias DNVC07 e JN32F foram estatisticamente significativas, sendo que ambos os modelos quadráticos apresentaram uma melhor adequação aos dados. O ponto crítico da função para a bactéria JN32F ocorre em uma lâmina de água de 66,1%, resultando em um comprimento de raiz de 106,24 cm, enquanto para a bactéria DNVC07, esse ponto crítico se dá em uma lâmina de água de 145,5%, com um comprimento de raiz de 114,5 cm (Figura 11).

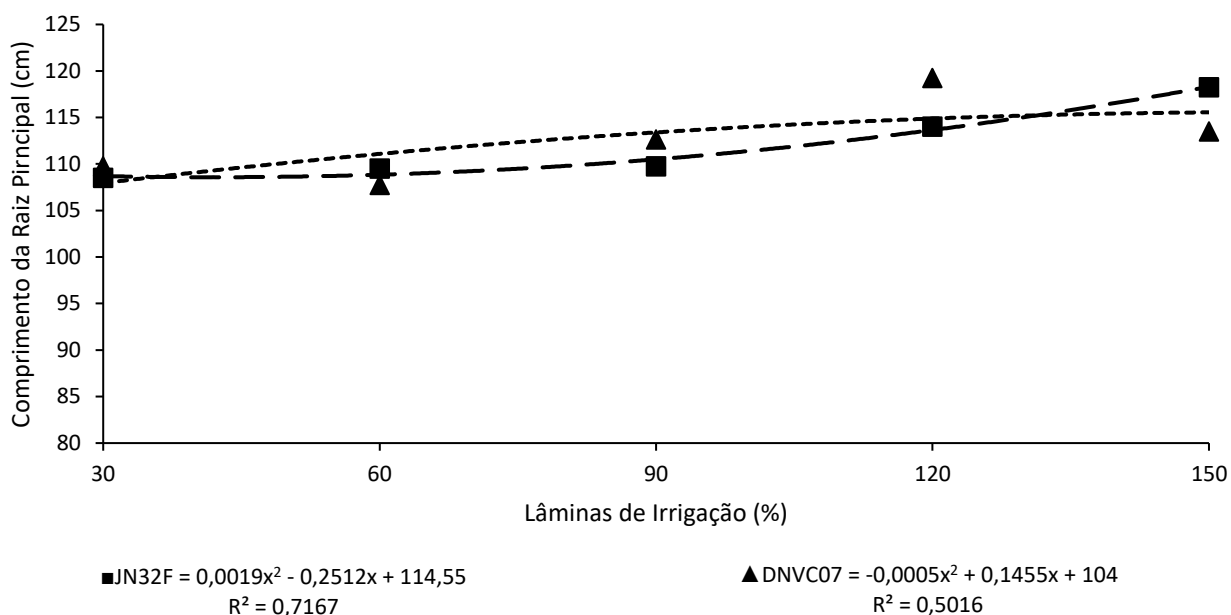


Figura 11. Comprimento da Raiz principal de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

O crescimento das raízes é um processo altamente regulado pelas plantas para lidar com condições adversas, como o déficit hídrico. Sabe-se que as plantas enviam sinais moleculares da parte aérea para suas raízes para identificar e responder a essas condições (Takahashi et al., 2020). O ácido abscísico (ABA) é um dos principais sinais envolvidos nessa resposta (Kuromori et al., 2018), pois seu acúmulo nos tecidos vasculares das folhas, em resposta à seca, desencadeia mecanismos que ajudam as plantas a resistir ao estresse hídrico, incluindo o fechamento dos estômatos e a expressão gênica responsiva ao estresse.

No contexto abordado, é relevante analisar o comportamento morfológico das raízes diante de situações de déficit hídrico. Estudos científicos têm demonstrado que, em condições de estresse hídrico, as raízes laterais tendem a apresentar redução, enquanto a raiz principal não é afetada (Deak et al., 2005). Esse comportamento adaptativo leva as plantas a expandirem suas raízes e desenvolverem um sistema radicular ramificado, com o objetivo de aumentar a capacidade de absorção de água e, assim, superar as adversas condições de seca (AlKahtani, 2021).

Embora o comprimento da raiz principal tenha sido similar em diferentes níveis de lâmina de irrigação, é relevante destacar que o crescimento máximo ocorreu nas lâminas com maior disponibilidade de água. Esse fenômeno pode ser atribuído à habilidade das plantas em aproveitar ao máximo as condições favoráveis de umidade para estimular o

crescimento radicular.

A análise dos dados indica que, apesar da capacidade de adaptação em condições de déficit hídrico, o crescimento da raiz principal é impulsionado por níveis mais elevados de água no solo. Isso enfatiza a importância da disponibilidade hídrica adequada para o desenvolvimento saudável e vigoroso do sistema radicular, tornando o uso de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs) uma estratégia valiosa para otimizar o desempenho das plantas em ambientes com restrições hídricas.

Observando o efeito Bactérias isoladamente, tem-se que as bactérias, mais uma vez, não apresentaram distinção estatística entre si, com exceção da testemunha pelo teste Tukey a 5% de probabilidade (Figura 12).

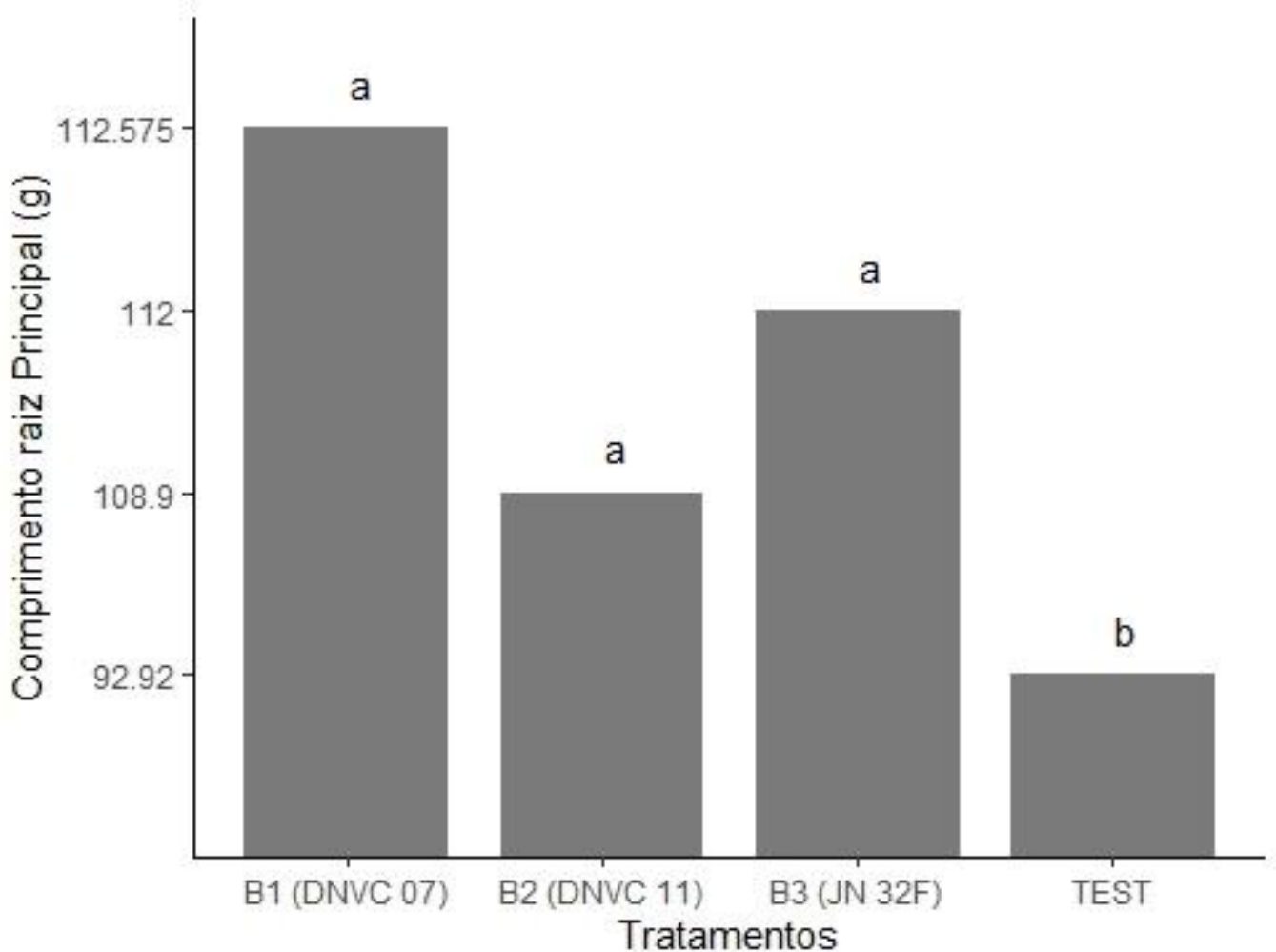


Figura 12. Comprimento da raiz principal de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

Os resultados da análise mostraram que a bactéria DNVC07 apresentou a maior média de comprimento da raiz, com um valor de 112,5 cm; seguida pela bactéria JN32F,

com 112 cm; e pela bactéria B2, com 108,9 cm. Por sua vez, a testemunha registrou uma média de comprimento de 92,92 cm. Ao analisar os incrementos proporcionados pelas bactérias, observamos que houve um acréscimo significativo de 21,07%, 20,5% e 17,19%, respectivamente.

Esses resultados sugerem que a aplicação das bactérias DNVC07, JN32F e DNVC11 teve um efeito benéfico no comprimento da raiz das plantas de eucalipto, proporcionando um aumento significativo em relação ao grupo controle. A bactéria DNVC07 se destacou como a mais eficiente em promover o crescimento da raiz, seguida pela JN32F e DNVC11.

As evidências encontradas neste estudo corroboram outros estudos, que também relataram os efeitos benéficos da inoculação bacteriana em diversas culturas, incluindo espécies florestais como o eucalipto. A capacidade das bactérias em promover o crescimento das raízes pode ser atribuída à produção de fitormônios, como o ácido indolacético, que estimula o desenvolvimento e a expansão das raízes. Além disso, a presença das bactérias pode melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo, tornando-os mais acessíveis às plantas.

A interação significativa (Tabela 2) entre as variáveis Bactéria e Lâmina de irrigação teve um efeito importante sobre o volume de raízes das plantas. Os resultados mostraram que, em quase todas as lâminas de irrigação, as plantas tratadas com bactérias apresentaram um volume estatisticamente superior em relação à testemunha (sem inoculação).

Tabela 2. Volume de raízes (cm³) observada em clones AEC144, submetidas à aplicação de BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%

Tratamentos	Volume (cm ³)				
	30%	60%	90%	120%	150%
TEST	193,00B	167,82AB	94,310B	97,77B	133,11A
DNVC07	261,00A	199,17A	179,36A	212,85A	185,53A
DNVC11	191,00B	197,45A	204,38A	212,9A	185,53A
JN32F	216,25AB	144,9B	209,75A	197,35A	189,75B

*Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

Ao analisar as diferentes lâminas de irrigação, o fator Bactéria foi dividido em grupos distintos. No nível 30, foram identificados três padrões: DNVC07, superior às demais, com média de 261,00 cm³, representando um incremento de 35,23% em relação ao grupo de controle; JN32F, com média de 216,25 cm³ e sendo estatisticamente igual a DNVC07

e às demais; além do grupo da Testemunha e da DNVC11, com média de 193,00 cm³ e 191,00 cm³, respectivamente.

No nível 60 da Lâmina de irrigação, o fator Bactéria foi dividido em dois grupos. Os grupos DNVC07 e DNVC11 apresentaram médias de 199,17 cm³ e 197,45 cm³, respectivamente, representando incrementos de 18,6% e 17,65% em relação ao grupo de controle. Por outro lado, os grupos TEST e JN32F obtiveram médias mais baixas, totalizando 167,82 cm³ e 144,90 cm³, respectivamente.

Ao considerar o nível 90 da Lâmina de irrigação, o fator Bactéria foi dividido em dois grupos. O grupo JN32F exibiu a maior média de volume 209,75 cm³, representando um incremento de 122% em relação ao grupo de controle. O grupo DNVC11 obteve uma média de 204,38 cm³, enquanto o grupo DNVC07 alcançou uma média de 179,36 cm³. Por sua vez, o grupo TEST registrou a menor média, com 94,31 cm³.

No nível 120 da Lâmina de irrigação, o fator Bactéria foi dividido em dois grupos. O grupo da bactéria DNVC11 apresentou a maior média de 212,90 cm³, exibindo o maior incremento de 117% em relação ao grupo de controle. As bactérias DNVC07 e JN32F alcançaram médias de 212,58 cm³ e 197,36 cm³, respectivamente. Enquanto o grupo da Testemunha manteve a menor média, com 97,78 cm³.

Por fim, no nível 150 da Lâmina de irrigação, o fator Bactéria foi dividido em três grupos. A bactéria DNVC07 registrou a maior média de 189,75 cm³, representando um incremento de 42% em relação ao grupo sem inoculação; seguida da DNVC11, com uma média de 185,53 cm³, enquanto a bactéria JN32F obteve uma média de 173,51 cm³. A testemunha exibiu a menor média, totalizando 133,11 cm³.

Esses resultados destacam a importância da interação entre as variáveis Bactéria e Lâmina de irrigação no contexto do volume das raízes das plantas de eucalipto. A compreensão desses efeitos pode fornecer informações valiosas para otimizar o manejo das plantações e melhorar o desenvolvimento das raízes, contribuindo para um aumento da produtividade e qualidade das plantas de eucalipto.

Em relação à análise de regressão, os modelos ajustados para cada bactéria foram polinomiais, permitindo explorar possíveis relações não-lineares entre as variáveis explicativas (nível de irrigação) e a variável resposta (volume das raízes).

Ao comparar os dados médios das diferentes bactérias (DNVC07, DNVC11 e JN32F) com o grupo de controle (TEST), podemos observar diferenças significativas no volume das raízes das plantas de eucalipto. Em geral, notamos que a maioria das bactérias (DNVC07 e DNVC11) teve um desempenho superior ao grupo de controle,

evidenciando um efeito positivo da inoculação dessas bactérias no crescimento das raízes.

A presença de exopolissacarídeos (EPS), nas plantas inoculadas com Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCV), pode explicar o aumento esperado no volume de raízes em comparação com as plantas não inoculadas. Esses exopolissacarídeos são substâncias produzidas pelas bactérias e liberadas no ambiente extracelular, formando uma espécie de rede rizosférica em torno das raízes das plantas (Zheng et al., 2018).

Essa rede rizosférica, criada pelos EPS, desempenha um papel fundamental na interação planta-bactéria-solo. Ao revestir as raízes, os EPS aumentam significativamente a superfície de contato entre o solo e as raízes das plantas, criando um ambiente mais favorável para a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Essa maior área de contato facilita a captação eficiente de nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, que são cruciais para o crescimento e desenvolvimento saudável das plantas. Além disso, os EPS também podem alterar a estrutura física do solo, afetando a retenção de água e a condutividade hidráulica. Essas mudanças no solo podem levar a um maior armazenamento de água disponível para as raízes, o que é benéfico, especialmente em períodos de estiagem, quando a disponibilidade de água no solo é um fator limitante para o crescimento das plantas (Zheng et al., 2018).

A presença dos exopolissacarídeos também pode promover uma maior agregação do solo, resultando em uma estrutura mais porosa e bem arejada, o que favorece o desenvolvimento das raízes e a penetração de oxigênio nas camadas do solo. Isso é importante para o metabolismo das raízes e para a respiração das plantas.

Observando a análise de regressão, a bactéria DNVC07 apresentou uma tendência crescente, em que as plantas tratadas com essa bactéria demonstraram um aumento gradual no volume das raízes à medida que o nível de irrigação aumentava. Por outro lado, a bactéria DNVC11 mostrou um padrão inverso, com o volume das raízes diminuindo à medida que o nível de irrigação aumentava.

Já para a bactéria JN32F, os dados não se encaixaram adequadamente em um modelo quadrático que atendesse aos pressupostos estabelecidos pelo estudo. Isso pode sugerir que a relação entre o nível de irrigação e o volume das raízes, para a bactéria JN32F, pode ser mais complexa do que a forma de uma curva quadrática pode descrever. Nesse caso, podem ser necessários outros tipos de modelos ou abordagens para compreender completamente o comportamento dessa bactéria em relação ao crescimento das raízes.

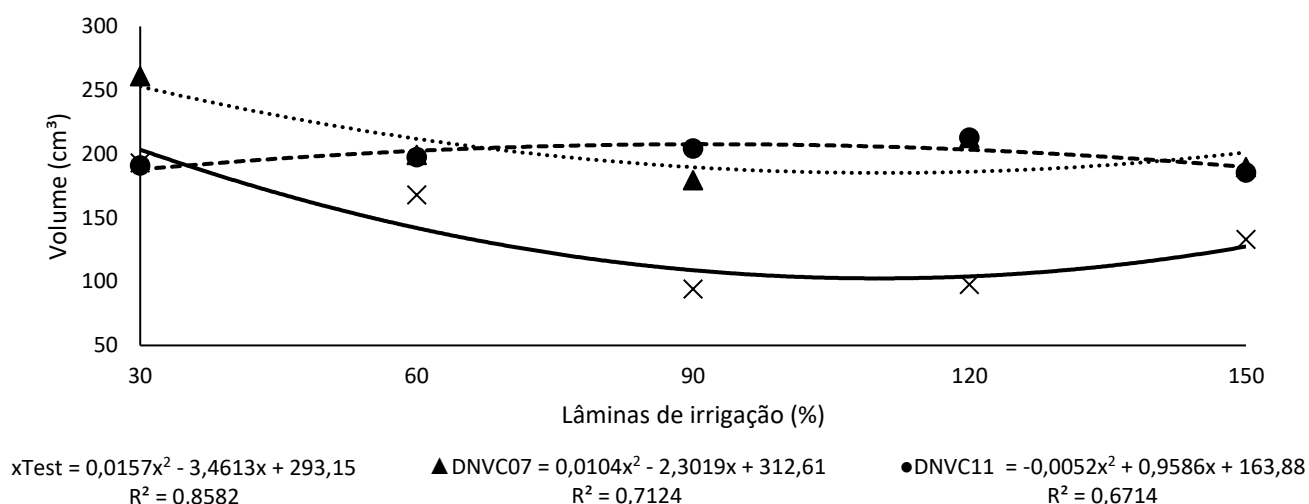


Figura 13. Volume de raiz de *Eucalyptus cloeziana*, submetidas a BPCV, sob os regimes hídricos de 30%, 60%, 90%, 120%, 150%.

A análise de regressão revelou informações cruciais sobre o comportamento das bactérias DNVC07 e DNVC11, bem como da testemunha (grupo controle), em relação ao ponto crítico de irrigação para o crescimento das raízes de eucalipto. O ponto crítico é o ponto onde o crescimento das raízes atinge seu valor máximo, representando um aspecto fundamental na compreensão dos efeitos da irrigação nas diferentes bactérias.

O ponto crítico de resposta para as bactérias DNVC07 e DNVC11 ocorre em aproximadamente 110,48% e 92,02% do nível de irrigação, respectivamente. Esse ponto crítico representa o ponto em que essas bactérias demonstram sua maior influência positiva no crescimento das raízes do eucalipto. No entanto, é relevante observar que tanto níveis de irrigação abaixo quanto acima desses pontos críticos podem resultar em efeitos negativos no crescimento radicular, indicando uma sensibilidade específica das bactérias à quantidade de água disponível. Esse fenômeno enfatiza a importância de manter um equilíbrio cuidadoso na irrigação para maximizar os benefícios das bactérias promotoras do crescimento vegetal e otimizar o desenvolvimento das plantas de eucalipto em condições de estresse hídrico.

Curiosamente, a testemunha (grupo controle) alcançou seu ponto crítico na lâmina de irrigação de 110%. Isso sugere que, nesse caso, a planta sem a inoculação de bactérias atinge sua melhor resposta em termos de crescimento radicular nesse nível específico de irrigação. Contudo, é importante ressaltar que, mesmo para a testemunha, níveis de irrigação abaixo ou acima desse ponto ótimo podem resultar em um crescimento radicular menos favorável.

De fato, os resultados obtidos neste estudo estão alinhados com a literatura atual, que abordaram o papel das bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em culturas agrícolas. As evidências fornecidas por Lin et al. (2020), em sorgo, e por Velloso et al. (2020), em milho, reforçam a relevância dessas bactérias na modificação do desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, no volume das raízes das plantas.

No estudo conduzido por Lin et al. (2020), em sorgo, a aplicação de BPCV resultou em um aumento significativo no volume e no comprimento das raízes. Essa observação sugere que as bactérias podem promover um maior desenvolvimento radicular, potencializando a capacidade de absorção de nutrientes e água pelas plantas. A ampliação da superfície radicular, proporcionada pelas BPCV, pode ser um fator crucial para o aumento da eficiência nutricional e, por conseqüência, para o crescimento e produtividade das culturas.

Já o estudo realizado por Velloso et al. (2020), em milho, revelou que diferentes BPCV foram capazes de modificar a estrutura das raízes. Essa modificação pode estar associada a uma melhor adaptação das plantas às condições do solo, especialmente em ambientes não favoráveis ou estressantes. Além disso, a alteração na estrutura radicular pode influenciar diretamente o volume das raízes, visto que uma arquitetura mais complexa e bem desenvolvida pode implicar em maior capacidade de absorção de nutrientes e água.

A análise de variância revelou que o índice SPAD não apresentou interação significativa entre as variáveis de estudo, ou seja, nem as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCV) nem as diferentes lâminas de irrigação foram capazes de promover alterações significativas nesse índice.

O índice SPAD é frequentemente utilizado como uma medida da concentração de clorofila nas folhas das plantas, o que está diretamente relacionado à capacidade fotossintética e, conseqüentemente, ao desempenho fisiológico e nutricional das plantas. Sendo assim, esperava-se que a inoculação das plantas com BPCV e a variação nas lâminas de irrigação pudessem ter algum impacto nas concentrações de clorofila e, portanto, no índice SPAD.

No entanto, os resultados obtidos mostram que essas variáveis não tiveram efeitos significativos nesse aspecto específico do desenvolvimento das plantas. Isso pode indicar que outros fatores podem estar exercendo uma influência maior sobre a concentração de clorofila e a fotossíntese, como a disponibilidade de nutrientes no solo, a temperatura, a luminosidade, entre outros.

A ausência de interação significativa entre as variáveis estudadas não deve ser interpretada como uma conclusão definitiva de que as BPCV ou as lâminas de irrigação não têm impacto na fotossíntese ou no estado nutricional das plantas. Pelo contrário, é possível que esses fatores exerçam efeitos sutis ou de longo prazo que não puderam ser detectados nesta análise específica.

A Figura abaixo ilustra a análise multivariada dos componentes principais (PCA) das médias dos dados observados e proporciona uma compreensão clara e abrangente dos resultados obtidos e discutidos ao longo deste estudo. Por meio da PCA, foi possível identificar padrões e associações entre os tratamentos e as variáveis estudadas (Figura 12).

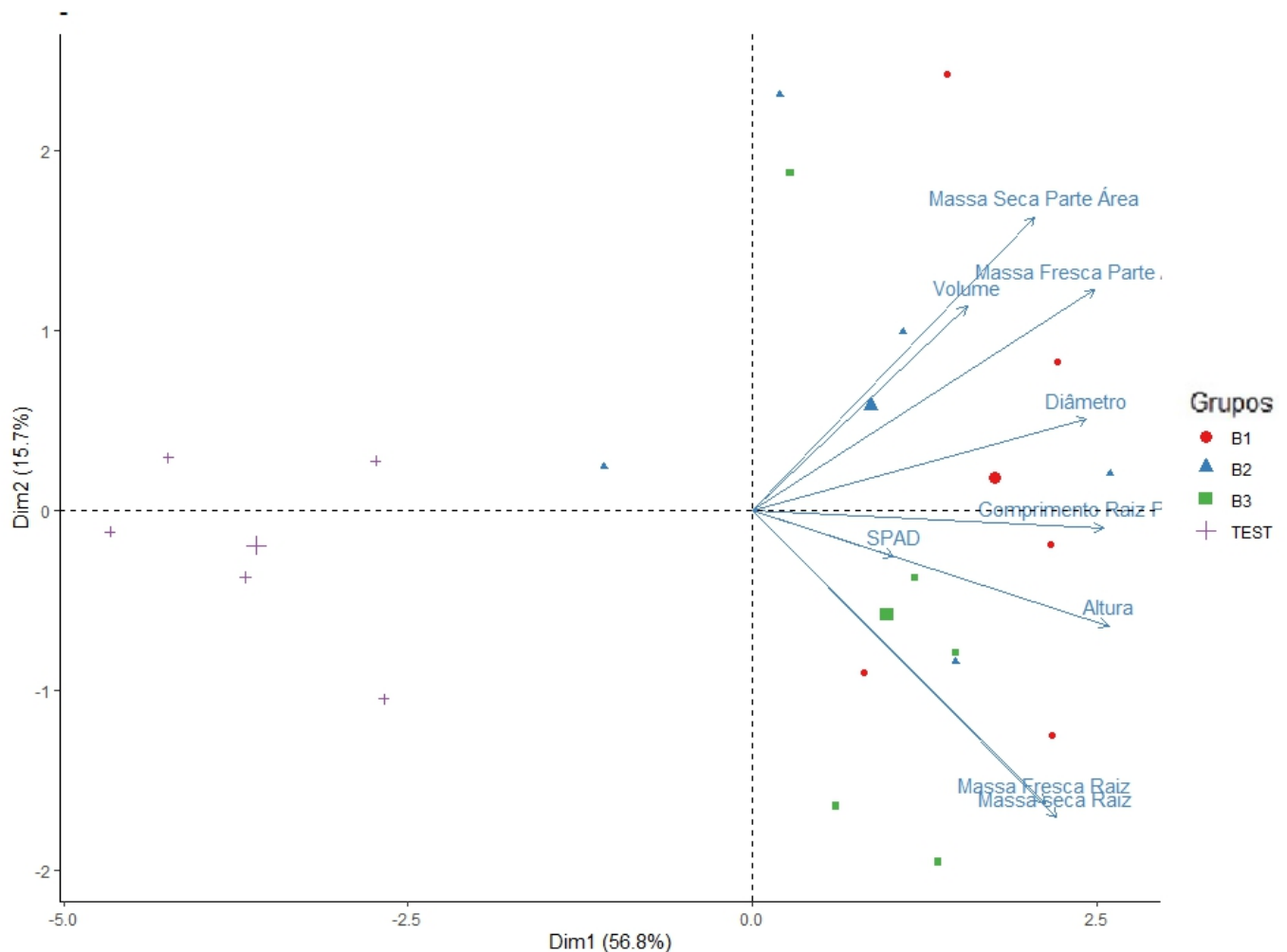


Figura 14. Variáveis observadas no estudo e agrupamento dos isolados bacterianos por análise de componentes principais.

Os tratamentos sem inoculação apresentaram uma correlação praticamente inexistente com todas as variáveis analisadas. Esse resultado destaca a falta de influência

desses tratamentos na promoção de respostas positivas nas variáveis estudadas, indicando que a ausência de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas em relação ao volume das raízes.

Por outro lado, todos os outros tratamentos exibiram algum nível de correlação com as variáveis analisadas. Essa observação sugere que a presença das BPCV influenciou as respostas das plantas e contribuiu para o aumento do volume das raízes. A existência de correlações positivas entre os tratamentos inoculados e as variáveis estudadas reforça a hipótese de que as BPCV desempenham um papel importante na promoção do crescimento radicular e, conseqüentemente, na melhoria da eficiência nutricional e hídrica das plantas.

A análise dos resultados, especialmente no que diz respeito a biomassas das raízes com os tratamentos investigados, é intrigante e revela informações importantes sobre a influência das bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) nas plantas estudadas.

A baixa associação das biomassas das raízes com os tratamentos investigados pode indicar que essas variáveis não são diretamente afetadas pela presença ou ausência das BPCV. A ausência de uma correlação forte com os tratamentos pode sugerir que as BPCV não exerceram influência direta sobre a fotossíntese ou a produção de clorofila nas folhas, e por isso não houve um crescimento significativo da biomassa.

Por outro lado, a alta correlação das demais variáveis com os tratamentos inoculados destaca a importância das BPCV na promoção do crescimento das plantas, especialmente a bactéria DNVC07, que se destacou como a mais eficiente nesse aspecto. Essa constatação é de grande relevância, pois demonstra que a DNVC07 possui características ou mecanismos específicos que a tornam mais eficaz na promoção do crescimento radicular em comparação com as outras bactérias investigadas.

As bactérias JN32F e DNVC11 também apresentaram alguma correlação com as variáveis estudadas, em que é provável que suas características ou mecanismos de ação sejam diferentes da bactéria DNVC07, resultando em uma dispersão mais ampla nos dados. Essa observação reforça a necessidade de se investigar mais profundamente as características dessas bactérias para compreender melhor sua contribuição no contexto do crescimento das plantas.

É importante destacar que as respostas das plantas à inoculação de BPCV podem variar de acordo com diversos fatores, como o tipo de bactéria utilizada, a cultura vegetal em questão, o ambiente de cultivo e as condições edafoclimáticas. Portanto, a

comparação e interpretação dos resultados de diferentes estudos devem levar em consideração essas variações.

Os dados deste estudo, juntamente com as evidências fornecidas por pesquisas anteriores, corroboram a hipótese de que as BPCV desempenham um papel significativo no crescimento do eucalipto. Essa informação é de grande relevância para o manejo agrícola, uma vez que a promoção do desenvolvimento pode trazer benefícios expressivos para a produtividade das culturas e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

No entanto, é essencial destacar que as interações entre as BPCV e as plantas são complexas e multifacetadas. A identificação de mecanismos específicos subjacentes aos efeitos das BPCV é um desafio contínuo na pesquisa agrônoma. Futuros estudos podem se concentrar em desvendar os processos moleculares e fisiológicos que ocorrem nessa interação, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias eficientes e sustentáveis de inoculação com BPCV para otimização do crescimento das plantas e aprimoramento da silvicultura.

Conclusões

A bactéria DNVC07 destaca-se como a melhor promotora do crescimento das raízes das plantas estudadas.

As plantas inoculadas com a bactéria DNVC07 apresentaram consistentemente um maior volume e comprimento de raízes em comparação com as bactérias DNVC11, JN32F e a testemunha (sem inoculação).

A lâmina de irrigação que proporcionou os melhores resultados de crescimento das plantas está entre 90% e 120%.

A análise de regressão destacou a interação sinérgica entre as bactérias promotoras de crescimento vegetal e a lâmina de irrigação, resultando em um significativo aumento no volume das raízes das plantas.

A análise multivariada dos componentes principais (PCA) mostrou que os tratamentos inoculados com as bactérias promotoras de crescimento vegetal apresentaram correlação positiva com as variáveis estudadas.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio e pela bolsa concedida.

Referências

Abdelaal, K.; AlKahtani, M.; Attia, K.; Hafez, Y.; Király, L.; Künstler, A. The Role of Plant Growth-Promoting Bacteria in Alleviating the Adverse Effects of Drought on Plants. *Biology*, vol. 10, p. 520, 2021. <https://doi.org/10.3390/biology10060520>

Ali, M.; Gul, A.; Hasan, H.; Gul, S.; Fareed, A.; Nadeem, M.; Siddique, R.; Jan, S.U.; Jamil, M. Cellular Mechanisms of Drought Tolerance in Wheat. In *Climate Change and Food Security with Emphasis on Wheat*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 155–167. 2020;

AlKahtani, M.D.F.; Fouda, A.; Attia, K.; Al-Otaibi, F.; Eid, A.M.; Ewais, E.; Hijri, M.; St-Arnaud, M.; Hassan, S.; Khan, N.; Hafez, Y. M.; Abdelaal, K. A. A. Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Endophytic Bacteria from Desert Plants and Their Application as Bioinoculants for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, v.10, p.1325, 2020.

AlKahtani, M.D.F.; Hafez, Y.M.; Attia, K.; Rashwan, E.; Husnain, L.A.; AlGwaiz, H.I.M.; Abdelaal, K.A.A. Evaluation of Silicon and Proline Application on the Oxidative Machinery in Drought-Stressed Sugar Beet. *Antioxidants*, v.10, p.398, 2021.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, F.; Smith, M. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p.

Baldani, J. I.; Reis, V. M.; Videira, S. S.; Boddey, L. H.; Baldani, V. L. D. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and Soil*, v.384, p. 413-431, 2014

Brunetta, J. M. F. C.; Alfenas, A. C.; Mafia, R. G.; Gomes, J. M.; Binoti, D. B.; Fonseca, N. A. N. Isolamento de rizobactérias promotoras do crescimento de *Pinus taeda*. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.3, p.399-406, 2010.

Daryanto, S.; Wang, L.; Jacinthe, P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. *Agric. Water Management*, v.179, p.18–33. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>

Deak, K. I.; Malamy, J. Regulação osmótica da arquitetura do sistema radicular. *Plant J.*, v.43, p.17–28, 2005.

Kuromori, T.; Seo, M.; Shinozaki, K. Aba e respostas de estresse hídrico da planta. *Tendências Plant Sci.*, v.23, p.513–522, 2018.

Köppen, W.; Geiger, R.. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

Lin, Y.; Watts, D. B.; Kloepper, J. W.; Feng, Y.; Torbert, H. A. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on corn growth under drought stress. *Communications*

in *Soil Science and Plant Analysis*, v. 51, n. 2, p. 250-264, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1705329>.

Gupta, A.; Medina-Rico, A.; Delgado-Cano, A. A fisiologia das respostas das plantas à seca. *Ciência*, v.368, p.266–269, 2020.

Martins, M. B. F.; Silva, A. H. S.; Carvalho, C. T.; Azeredo, G. A.; Oliveira, F. L. N. Biofertilizante de torta de filtro e bactéria promotora do crescimento em plantas na produção de mudas de alface. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.9, p.67758-67768, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-274>.

Niu, X.; Song, L.; Xiao, Y.; Ge, W. Drought-Tolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Associated with Foxtail Millet in a Semi-arid Agroecosystem and Their Potential in Alleviating Drought Stress. *Front. Microbiol.*, v.8, 2018.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. H.. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. 1. ed. Viçosa: CBCS/UFV, 359p. 1999

Rodrigues, V. A.; SantoS, R. K. A.; Barbosa, A. J. V.; Novais, D. B.; Ferreira, J. S. Isolamento e inoculação de rizobactérias em mudas de *Eucalyptus urophylla*. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v.34, n.67, p.138-149, 2019.

Silva, C. R. A.; Ribeiro, A.; Oliveira, A. S.; Klippel, V. H.; Barbosa, R. L. P. Desenvolvimento biométrico de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação na fase de crescimento. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.35, n.84, p.381-390, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.897>.

Santos, R. K. A.; Ferreira, J. S.; De Paula, R. C.; Rodrigues, V. A.; Silva, V. A. M. D.; Santos, J. D. S. Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization in *Eucalyptus urophylla* increase growth. *Holos*, v.2, p. 1-14. 2021.

SOUZA, L. A. G. et al. Inoculação com rizóbios em mudas de acapu do igapó e saboarana. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 54, n. 1, p. 52-60, 2011.

Taiz, L; Zeiger, E.. *Fisiologia vegetal*. 6. ed. São Paulo, Artmed, 2016, 954p.

Takahashi, F.; Kuromori, T.; Urano, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K. Drought Stress Responses and Resistance in Plants: From Cellular Responses to Long-Distance Intercellular Communication. *Front. Plant Sci*, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.556972

Tiwari, P.; Bajpai, M.; Singh, LK; Mishra, S.; Yadav, AN. Fitohormônios produzindo comunidades fúngicas: Engenharia metabólica para tolerância ao estresse abiótico em culturas. In *Fungos de Importância Agrícola para a Agricultura Sustentável*; Springer:

Cham, Holanda, pp. 56–86. 2020.

Vellini, A.L.T.T.; Paula, N.F.de; Alves, P.L.da.C.A.; Pavani, L.C.; BOnine, C.A.V.; Scarpinati, E.A.; Paula, R.C.de. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.651-663, 2008.

Velloso, C. C. V.; Ribeiro, V. P.; Carvalho, C. G. de; Oliveira-paiva, C. A.; Lana, U. G. de P.; Marriel, I. E.; Sousa, S. M. de; Gomes, E. A. Tropical endophytic *Bacillus* species enhance plant growth and nutrient uptake in cereals. v.3, pp.157-180, 2021.

Vurukonda, S. S.; Vardharajula, S.; Shrivastava, M.; SkZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiol Res.*, v.184, p.13-24, 2016. doi: 10.1016/j.micres.2015.12.003.

Zahir, ZA; Ghani, U.; Naveed, M.; Nadem, SM; Asghar, HN. Eficácia comparativa de *Pseudomonas* e *Serratia* sp. contendo ACC-desaminase para melhorar o crescimento e rendimento de trigo (*Triticum aestivum* L.) sob condições de estresse salino. *Arch. Microbiol.*, v.191, p.415-424, 2009.

Zheng, W.; Zeng, S.; Bais, H.; LaManna, J. M.; Hussey, D. S.; Jacobson, D. L.; Jin, Y. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Reduce Evaporation and Increase Soil Water Retention. *Water Resources Research*, v.54, p.3673-3687, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018WR022656>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese explorou a influência das Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal (BPCVs) no cultivo de eucalipto, com foco especial na mitigação do estresse

hídrico e no aumento da produtividade em condições de campo. Os três artigos que compuseram esta pesquisa lançaram luz sobre a importância desses microrganismos benéficos no contexto do desenvolvimento sustentável de Eucalipto.

Artigo 1: "Morfologia de mudas de eucalipto sob estresse hídrico e inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal"

O primeiro artigo revelou que o estresse hídrico tem um impacto adverso no crescimento das mudas de eucalipto. No entanto, a inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal, em particular, a bactéria DNVC07, demonstrou ser uma estratégia promissora para aumentar a tolerância ao estresse hídrico nas plantas jovens de eucalipto. A escolha adequada da lâmina de água também desempenhou um papel crucial na otimização dos resultados.

Artigo 2: "Bactérias promotoras de crescimento vegetal nativas da Região Sudoeste da Bahia no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus cloeziana* em condições de campo"

O segundo artigo expandiu nosso entendimento sobre o uso de BPCVs, concentrando-se em condições de campo. Os resultados destacaram a influência positiva das bactérias promotoras do crescimento no crescimento das plantas de *Eucalyptus cloeziana*. Novamente, a bactéria DNVC07 demonstrou ser altamente eficaz na promoção do crescimento, destacando sua relevância na prática de silvicultura sustentável.

Artigo 3: "Potencial de Bactérias Promotoras do Crescimento em Eucalipto sob Estresse Hídrico em Campo"

O terceiro artigo abordou a combinação de estresse hídrico e BPCVs em campo. Os resultados enfatizaram que a bactéria DNVC07 se destacou ao promover o crescimento das raízes, contribuindo significativamente para o desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus cloeziana*. Além disso, a lâmina de irrigação de 90% mostrou-se mais adequada para potencializar os efeitos benéficos das BPCVs.

Em conjunto, os três artigos desta tese corroboram a importância das Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal como uma estratégia promissora para melhorar a produtividade e a resistência das mudas de eucalipto, especialmente em condições de estresse hídrico. Essas descobertas têm implicações significativas na promoção da cultura do Eucalipto na região Sudoeste da Bahia, atendendo à crescente demanda por recursos florestais e ressaltando a necessidade de investigações futuras na otimização dessa abordagem.