

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO *Bacillus subtilis* E *Burkholderia seminalis* NA
MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO
TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

Autor: Thiago Dias Silva
Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira
Coorientadora: Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

Ceres - GO
Fevereiro – 2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO *Bacillus subtilis* E *Burkholderia seminalis* NA
MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO
TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

Autor: Thiago Dias Silva

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres – Área de concentração: Irrigação.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586
i
Silva, Thiago Dias
INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO
Bacillus subtilis E Burkholderia seminalis NA
MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO TOMATE
(Solanum lycopersicum) / Thiago Dias Silva;
orientador Henrique Fonseca Elias de Oliveira; co-
orientadora Priscila Jane Romano Gonçalves Selari. --
Ceres, 2024.
88 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação
em Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Ceres, 2024.

1. bioinoculantes. 2. tecnologia de sementes. 3.
qualidade de frutos. 4. bactérias promotoras de
crescimento de plantas. 5. irrigação deficitária. I.
Fonseca Elias de Oliveira, Henrique, orient. II.
Jane Romano Gonçalves Selari, Priscila, co-orient.

Responsável: João Paulo Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2378

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Thiago Dias Silva

Matrícula:

2021103330640020

Título do trabalho:

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO *Bacillus subtilis* E *Burkholderia seminalis* NA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 01 / 03 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres

Local

27 / 02 / 2024

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 10/2023 - CCMIC-CE/GPPI/CMPCE/IFGOIANO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO *Bacillus subtilis* E
Burkholderia seminalis NA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO NA CULTURA DO
TOMATE (*Solanum lycopersicum*)**

Autor: Thiago Dias Silva

Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração:
Irrigação

APROVADO em: 31 de setembro de 2023.

Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira

Presidente da banca

IF Goiano - Campus Ceres

Prof. Dr. Márcio Mesquita

Avaliador Interno

Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva

Avaliador Externo

Universidade Federal do Alagoas

Dra. Marta Cristina Corsi de Filippi

Avaliadora Externa Suplente

Embrapa Arroz e Feijão

Documento assinado eletronicamente por:

- Henrique Fonseca Elias de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/09/2023 10:09:26.
- Márcio Mesquita, Márcio Mesquita - Outros - Instituto Federal Goiano - Campus Ceres (10651417000410), em 05/09/2023 10:30:24.
- Marcos Vinícius da Silva, Marcos Vinícius da Silva - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal do Alagoas (24464109000148), em 06/09/2023 17:48:03.
- Marta Cristina Corsi de Filippi, Marta Cristina Corsi de Filippi - Professor Avaliador de Banca - Embrapa Arroz e Feijão (00348003001435), em 07/09/2023 18:43:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/08/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 526125
Código de Autenticação: ebb7cb291b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, 03, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, em especial ao Campus Ceres, agente transformador de vidas e presente em toda minha formação.

Ao meu orientador Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira e à minha coorientadora Dra. Priscila Jane Romano Goncalves Selari, incentivadores, mestres e grandes inspirações de profissionais a serem seguidos.

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq” pelo financiamento da pesquisa através da Chamada CNPq/MCTI/FNDCT N° 18/2021 - UNIVERSAL.

Ao "Instituto Federal Goiano" pelo financiamento da pesquisa através da Chamada Interna n° 19 de 09 de julho de 2021.

À "Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG" pela bolsa de pesquisa concedida, sendo de extrema importância para a realização desta pesquisa.

Aos meus pais, Regina Maria de Fátima Dias e Ribas Antônio da Silva, que me auxiliaram e me deram total suporte na execução e condução deste mestrado, sem os quais eu não conseguiria chegar onde cheguei e nem encarar os desafios que enfrentei. Mãe e pai, essa conquista é tão de vocês quanto minha. Eu os amo infinitamente.

Às minhas irmãs, Thais Dias e Silva e Tuanny Dias Silva, aos meus cunhados Marcio Silva e Anderson Silva e aos meus sobrinhos, Augusto da Mata Morais Dias Silva e Guilherme da Mata Morais Dias Silva, que além do suporte, me trouxeram toda a força necessária para conclusão do mestrado. Minha família foi sem sombra de dúvidas meu combustível diário. Thais, além de me ser uma das minhas maiores incentivadoras e fãs, me auxiliou durante a fase prática deste projeto. Muito obrigado.

À minha avó, Iraides Maria, minha segunda mãe. Obrigado por tudo, minha velhinha.

Aos professores e terceirizados do IF Goiano – Campus Ceres que não mediram esforços em me auxiliar e sanar minhas dúvidas, em especial as amigas Verônica Maria dos Santos, Alice Afonso de Souza, Rhannya Rafaela, Mirelle São Bernardo, Delyane Rodrigues de Oliveira e Maria Sena que trouxeram mais leveza, companheirismo e partilha nas horas de café em todos os dias que eu estava presente no Campus.

Ao professor Dr. Wesley Melo Rangel, que contribuiu grandemente durante a execução deste trabalho.

Aos meus amigos de Goiânia (Daniela, Davi, Andressa, David, Rodolfo, Brenner, Nathália, Mateus, Larissa, Hebertch, Raquel, Yuri e Herick) que são meus maiores incentivadores e se espelham em mim. Acreditem, eu também me espelho em vocês.

Às minhas melhores amigas, Yohana e Lorrany, que me aconselharam, me ouviram, me ajudaram e, acima de tudo, se fizeram presentes nesta etapa. Amo vocês imensamente.

Aos amigos que construí durante toda minha jornada no IF Goiano – Campus Ceres, durante a graduação e o mestrado, em especial João Vitor, Tássia, Iury, Elias, Silvone, Fernanda, Cinthia, Baiano, Padre, Thiago, Sara, Lacielly, Luiz, Matheus Dias, Matheus Melo, Emanuel, Gabriel Paêta, Matheus Augusto, Mortão, Bocalan, Fagner, Gelatti, João Paulo, Richinha, Camily, Bolivinha, Gordinho, André, Alexsander, Sinval, César, Rafael Araújo, Marcos André, Cris, Rayane, Boi, Lara, Carol, Sarah e PH.

Aos demais colaboradores do projeto.

Aos membros da banca avaliadora.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente, meu muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

THIAGO DIAS SILVA, filho de Regina Maria de Fátima Dias e Ribas Antônio da Silva, nasceu em 12 de outubro de 1996 no município de Ceres – GO. Em 2014 ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres (IF Goiano – Ceres), recebendo em 2018 o título de Bacharel em Zootecnia. Ainda durante a graduação, em 2015, iniciou suas atividades como professor contratado do ensino fundamental II e médio do Colégio Estadual Baltazar Parreira em São Patrício – GO, lecionando Ciências, Biologia, Química e Física, até o ano de 2017. Em 2021, iniciou o curso do Programa de Pós Graduação em Irrigação no Cerrado (PPGIC), no IF Goiano – Ceres, a nível de mestrado profissional, Área de Concentração: Irrigação. Em 2023, lecionou biologia em cursinhos pré-vestibulares nas cidades do Vale São Patrício e atualmente, é professor de biologia e inglês no Colégio Pitágoras em Uruana – GO.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO GERAL	22
1.1 Referências Bibliográficas	24
2 OBJETIVOS	29
2.1 Objetivo Geral	29
2.2 Objetivos Específicos	29
3. CAPÍTULO I	30
3.1. Introdução	31
3.2. Material e Métodos	33
3.2.1 Caracterização da área de estudo	33
3.2.2 Ensaio Laboratoriais	35
3.2.2.1 Atividade antagônica in vitro de <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858 e <i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3	35
3.2.2.2 Germinação de sementes de tomate in vitro	36
3.2.3 Cultivo em casa de vegetação	37
3.2.3.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental	38
3.2.3.2 Análises experimentais	39
3.2.3.2.1 Análises morfométricas das plantas	39
3.2.3.2.2 Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos	40
3.2.3.2.3 Análises fisiológicas das plantas	41
3.2.4 Análises Estatísticas	42
3.3. Resultados	43
3.3.1 Ensaio Laboratoriais	43
3.3.1.1 Antagonismo in vitro	43
3.3.1.2 Germinação de sementes de tomate in vitro	44
3.3.2 Cultivo em casa de vegetação	45
3.3.2.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental	45
3.3.2.2 Análises experimentais	45
3.3.2.2.1 Análises morfométricas das plantas	45
3.3.2.2.2 Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos	50
3.3.2.2.3 Análises fisiológicas das plantas	52
3.3.2.2.4 Análise de componentes principais	52
3.4. Discussão	54
3.4.1 Ensaio Laboratoriais	54
3.4.1.1 Antagonismo in vitro	54
3.4.1.2 Germinação de sementes de tomate in vitro	54

3.4.2 Cultivo em casa de vegetação.....	56
3.4.2.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental	56
3.4.2.2 Análises experimentais	57
3.4.2.2.1 Análises morfométricas das plantas	57
3.4.2.2.2 Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos.....	59
3.4.2.2.3 Análises fisiológicas das plantas	61
3.4.2.2.4 Análise de componentes principais	61
3.5. Conclusões.....	62
3.6. Referências Bibliográficas.....	63
4. CAPÍTULO II.....	67
4.1. Introdução.....	67
4.2. Resultados.....	68
4.2.1 Análises experimentais	68
4.2.1.1 Análises morfométricas das plantas	68
4.2.1.2. Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos.....	70
4.2.1.3. Análises fisiológicas	72
4.2.1.4. Análise de componentes principais	75
4.3. Discussão.....	77
4.3.1. Análises experimentais	77
4.3.1.1. Análises morfométricas das plantas	77
4.3.1.2. Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos.....	78
4.3.1.3. Análises fisiológicas	79
4.3.1.4. Análise de componentes principais	79
4.4. Material e Métodos.....	79
4.4.1. Caracterização da área de estudo.....	79
4.4.2. Delineamento e arranjo experimental.....	81
4.4.3. Microbiolização	81
4.4.4. Semeadura, transplântio e manejo experimental	81
4.4.5. Análises experimentais	82
4.4.5.1. Análises morfométricas das plantas	82
4.4.5.2. Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos.....	82
4.4.5.3. Análises fisiológicas	83
4.4.6. Análises estatísticas	83
4.5. Conclusões.....	83
4.6. Referências Bibliográficas.....	84
5. CONCLUSÃO GERAL	88

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Taxa de germinação de tomate cereja após a microbiolização.....	44
Tabela 2. Índice de velocidade de emergência (IVE) de tomate cereja após a microbiolização.....	45
Tabela 3. Diâmetro do caule (D15), altura da plântula (H15), massa fresca da parte aérea (MFPA15), massa fresca da raiz (MFR15), massa seca da parte aérea (MSPA15), massa seca da raiz (MSR15) e comprimento de radícula (CR15) das plântulas aos 15 DAS.....	46
Tabela 4. Diâmetro do caule (D30), altura da planta (H30), massa fresca da parte aérea (MFPA30), massa seca da parte aérea (MSPA30), massa fresca da raiz (MFR30), massa seca da raiz (MSR30), comprimento de raiz (CR30), volume de raiz (VR30) e número de folhas das plantas (Nº Folhas 30) aos 30 DAS.....	48
Tabela 5. Diâmetro de caule (DC), 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 (VR) e comprimento da raiz (CR) do tomate cereja aos 135 DAT.....	50
Tabela 6. Produtividade (PROD), número de cachos totais por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), número de sementes por fruto (NSF), peso médio de um fruto (Pfmédio), teor de sólidos solúveis (SS), diâmetro longitudinal (Dlong), diâmetro latitudinal (DLat), atividade de água (Aa), pH, acidez titulável (At) e textura de tomate cereja inoculado e sem inoculação.....	51
Tabela 7. Teores de clorofila “a”, clorofila “b”, carotenoides e conteúdo hídrico foliar (CHF) do tomate cereja inoculado e sem inoculação.....	52

Capítulo II

Tabela 1. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) e volume da raiz (VR) do tomate cereja inoculado.....	69
Tabela 2. Peso do fruto (PF), teor de sólidos solúveis (SS), número de sementes por fruto (NS), diâmetro latitudinal (DLAT) e diâmetro longitudinal (DLONG) do tomate cereja inoculado.....	70

Tabela 3. Número de frutos por cacho (NFC) de plantas de tomate cereja inoculado sob diferentes níveis de reposição hídrica (NRH).....	71
Tabela 4. Atividade de água (Aa), acidez titulável (AT, mg 100g de ácido cítrico ⁻¹), pH, punção (PN) e compressão (CP) do tomate cereja inoculado com <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858, <i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3 e sem inoculação sob diferentes níveis de reposição hídrica.....	72
Tabela 5. Teor de clorofila b (Cb) e teor de carotenoides (Ct) de plantas de tomate cereja inoculado.....	73
Tabela 6. Conteúdo hídrico foliar (CHF) e teor de clorofila a (Ca) de plantas de tomate cereja inoculado sob diferentes níveis de reposição hídrica (NRH).....	73

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1. Localização espacial da área de estudo, área experimental em ambiente protegido (d) do IF Goiano – *Campus Ceres* (c), localizado no estado de Góias (b), Brasil (a).....34
- Figura 2. Temperatura máxima, mínima, média (°C) e umidade relativa do ar (%) diária durante a condução do experimento em casa de vegetação, no IF Goiano – *Campus Ceres*.....35
- Figura 3. Teste de antibiose pelo método da sobrecamada. A) Placa previamente cultivada com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 inoculada posteriormente com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 ; B) Placa previamente cultivada com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 inoculada posteriormente com *Bacillus subtilis* ATCC 23858....44
- Figura 4. Comprimento de radícula de plântulas de tomate cereja, sem inoculação (SI), inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA) e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU).....47
- Figura 5. Raízes de mudas de tomate nos tratamentos sem inoculação (SI), inoculado com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU) e *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA)..49
- Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) do tomate cereja sem inoculação e inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3....49
- Figura 7. ACP das principais variáveis em função das inoculações.....53

Capítulo II

- Figura 1. Massa fresca de raiz (MFR) de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.....69
- Figura 2. Volume de raiz de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.....70
- Figura 3. Número de frutos por cacho em plantas de tomate cereja inoculados com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA), *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU) e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.....71
- Figura 4. Produtividade de tomate cereja submetido a diferentes níveis de reposição hídrica.....72

Figura 5. Conteúdo hídrico foliar (CHF, %) em plantas de tomate cereja inoculados com <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858, <i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3 e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.....	74
Figura 6. Teor de clorofila “a” ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja inoculados com <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858, <i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3 e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.....	74
Figura 7. Teor de clorofila “b” ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.....	75
Figura 8. Teor de carotenoides ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.....	75
Figura 9. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis em função das inoculações.....	76
Figura 10. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis em função dos níveis de reposição hídrica (lâminas de 40, 60, 80 e 100% da ETc).....	77
Figura 11. Localização espacial da área de estudo, experimento em casa de vegetação (d), IF Goiano – Campus Ceres (c), localizado no estado de Góias (b), Brasil (a).....	80
Figura 12. Temperatura máxima (Temp. Máx.), mínima (Temp. Mín.) e a média (Temp. Méd.) diária durante a condução do experimento em casa de vegetação.....	80

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	Porcentagem	
*	Significativo ao nível de 5%	
**	Significativo ao nível de 1%	
°C	Grau Celsius	
Aa	Atividade de água	
ABA	ácido abscísico	
ACC	1-aminociclopropano-1-carboxilato	
ACP	análise de componentes principais	
AIA	ácido indolacético	
AT	acidez titulável	mg 100g de ácido cítrico ⁻¹
<i>B. seminalis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3	
<i>B. subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858	
B.O.D.	biochemical oxygen demand	
BA	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 23858	
BPCP	bactérias promotoras de crescimento de plantas	
BU	<i>Burkholderia seminalis</i> TC3.4.2R3	
Ca	teor de clorofila a	µg g ⁻¹ planta
Cb	teor de clorofila b	µg g ⁻¹ planta
CHF	conteúdo hídrico foliar	%
CO ₂	dióxido de carbono	
CP	compressão	
CP1	componente principal um	
CP2	componente principal dois	
CR	comprimento de raiz	cm
Ct	teor de carotenoides	µg g ⁻¹ planta
CVA	conteúdo volumétrico de água	m ³ m ⁻³
D.O.	densidade óptica	
DAS	dias após a semeadura	
DAT	dias após o transplantio	
DBC	delineamento em blocos casualizados	
DC	diâmetro do caule/colmo	mm
DLAT	diâmetro equatorial do fruto	mm
DLONG	diâmetro longitudinal do fruto	mm
e.g.	por exemplo	
ETc	evapotranspiração da cultura	mm/dia
H	Altura	cm
h	Horas	
H ₂ O	Água	
IVE	índice de velocidade de emergência	
LIMBIO	Laboratório de Interações Microbianas e Biotecnologia	
Ln	logarítmo natural	
MF	massa fresca dos discos foliares	mg
MFPA	massa fresca da parte aérea	g
MFR	massa fresca da raiz	g

MS	Massa seca dos discos foliares	mg
MSPA	massa seca da parte aérea	g
MSR	massa seca da raiz	g
MT	Massa túrgida dos discos foliares	mg
NaOCl	hipoclorito de sódio	mL
NC	número de cachos	
NF	número de folhas	
NFC	número de frutos por cacho	
NS	número de sementes por fruto	
NSF	número de sementes por fruto	
ns	Não significativo	
PF	peso do fruto	g
Pfmedio	peso médio do fruto	g
PN	Punção	
PROD	Produtividade	t ha ⁻¹
ProdHA	Produtividade	t ha ⁻¹
RAS	regras de análises de sementes	
rpm	rotações por minuto	
RSI	resistência sistêmica induzida de plantas	
SI	sem inoculação	
SS	sólidos solúveis	°BRIX
TCR	taxa de crescimento relativo	
UFC	unidades formadoras de colônia por mililitro	
VR	volume de raiz	cm ³

RESUMO

SILVA, THIAGO DIAS. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, fevereiro de 2024. **Inoculação de bactérias promotoras de crescimento *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* na mitigação do déficit hídrico na cultura do tomate (*Solanum lycopersicum*).** Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira. Coorientadora: Profa. Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

Estratégias de manejo têm sido desenvolvidas com o intuito de mitigar, nas plantas, os efeitos do déficit hídrico. Como estratégia, o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) na agricultura tem se destacado, pois atuam simbioticamente com as plantas promovendo o crescimento destas. Neste sentido o presente estudo objetivou avaliar os efeitos da inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 sobre as características morfológicas das plantas, atributos tecnológicos dos frutos e produtividade do tomate cereja comum submetido a déficit hídrico induzido. Para isto, foram adotados dois ciclos produtivos que consistiram em dois delineamentos diferentes, sendo: a) delineamento em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos: inoculação com i) *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ii) *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e iii) sem inoculação (SI), em oito blocos; b) delineamento em blocos casualizados, analisado em esquema de parcelas divididas 4x3, sendo quatro níveis de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) e três tipos de inoculação (i. *Bacillus subtilis* ATCC 23858; ii. *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 ; iii. sem inoculação). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,01$ e $P < 0,05$). Para concluir a análise, também foi utilizada a estatística multivariada, a partir da análise de componentes principais (ACP). Para o ciclo (a) Aos 30 DAS, as mudas inoculadas com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* diferiram estatisticamente ($P < 0,01$) em relação ao tratamento sem inoculação para índice de velocidade de emergência (IVE), massa fresca (MFPA) e massa seca (MSPA) de parte aérea e comprimento de raiz (CR). *Burkholderia seminalis* proporcionou maior taxa de germinação ($P < 0,05$) em relação ao tratamento SI, enquanto *Bacillus subtilis* proporcionou ($P < 0,01$) maior altura de plantas e (MFR) e (MSR) de raiz em relação ao tratamento SI. A inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* aumentaram a produtividade em relação ao tratamento sem inoculação em 9,56% e em 4,3%, respectivamente. O teor de sólidos solúveis de frutos aumentou em 9,25% e 12,33% em razão da inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* em relação ao tratamento sem inoculação. A inoculação também promoveu maior resistência mecânica de frutos quanto a compressão e punção. Na análise de componentes principais (ACP), o somatório da variância correspondeu a 64,84% do conjunto total dos dados. Logo, a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* promove o crescimento vegetal, produtividade e traz incrementos qualitativos dos frutos destacando seu potencial no manejo agrícola sustentável. Para o ciclo (b) a inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou teores de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz e volume de raiz. A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou os teores de carotenoides e de clorofila b. Ambas as inoculações aumentaram o conteúdo hídrico foliar nas plantas com déficit hídrico mais acentuado (40% ETc). O

uso das cepas como BPCP não afetou a qualidade de frutos, exceto pelo teor de sólidos solúveis. Frutos provenientes de plantas inoculadas ficaram mais leves, porém com maior número de frutos por cacho, acarretando maior produtividade. Os maiores níveis de reposição hídrica promoveram maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: bioinoculantes, tecnologia de sementes, qualidade de frutos, bactérias promotoras de crescimento de plantas, irrigação deficitária

ABSTRACT

SILVA, THIAGO DIAS. Goiano Federal Institute, Ceres Campus, Goiás State (GO), Brazil, February, 2024. **Inoculation of *Bacillus subtilis* and *Burkholderia seminalis* bacteria for plant growth-promoting to mitigate water deficit in tomato (*Solanum lycopersicum*) crops.** Advisor: PhD Henrique Fonseca Elias de Oliveira. Co-advisor: PhD Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

Management strategies have been developed aiming to mitigate the effects of water deficit on plants. Using plant growth-promoting bacteria (PGPB) in agriculture has stood out, as they act symbiotically in plants, promoting their growth. In this sense, this paper aimed to evaluate the inoculation effects of *Bacillus subtilis* ATCC 23858 and *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 on the plant morphological characteristics, fruit technological attributes, and common cherry tomatoes productivity subjected to induced water deficit. For this purpose, two production cycles were chosen, consisting of two different designs: (a) randomized block design (RBD) with three treatments [inoculation with *Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, and without inoculation (WI)] in eight blocks; (b) randomized block design analyzed in a 4x3 split plot scheme with four levels of water replacement [40%, 60%, 80%, and 100% of crop evapotranspiration (ETc)], and three inoculation types (*Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, and without inoculation). The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) by the F test and compared by the Tukey test ($P < 0.01$ and $P < 0.05$). Multivariate statistics were also applied based on principal component analysis (PCA) to complete the analysis. For the cycle (a), at 30 days after sowing (DAS), the seedlings inoculated with *Bacillus subtilis* and *Burkholderia seminalis* differed statistically ($P < 0.01$) in relation to the treatment without inoculation for emergence speed index (ESI), aerial part fresh mass (APFM), aerial part dry mass (APDM), and root length (RL). *Burkholderia seminalis* provided a higher germination rate ($P < 0.05$) in relation to the WI treatment, while *Bacillus subtilis* provided ($P < 0.01$) greater plant height, fresh root matter (FRM), and dry root matter (DRM) in relation to the WI treatment. Inoculation with *Bacillus subtilis* and *Burkholderia seminalis* increased productivity compared to treatment without inoculation by 9.56% and 4.3%, respectively. The fruit soluble solids content increased by 9.25% and 12.33% due to the plant inoculation with *Bacillus subtilis* and *Burkholderia seminalis* in relation to the treatment without inoculation. Inoculation also promoted greater mechanical resistance of the fruits regarding compression and puncture. In principal component analysis (PCA), the sum of the variance corresponded to 64.84% of the total data set. Therefore, inoculation with *Bacillus subtilis* and *Burkholderia seminalis* promotes plant growth and productivity, and brings qualitative increases to the fruits, highlighting their potential in sustainable agricultural management. For cycle (b) inoculation with *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 increased the fresh and dry mass contents of aerial part, the root content, and root volume. Inoculation with *Bacillus subtilis* ATCC 23858 increased the levels of carotenoid and chlorophyll b. Both inoculations increased the plant leaf water content in plants with more severe water deficit (40% ETc). The use of strains such as plant growth-promoting bacteria (PGPB) did not affect the fruit quality, except for the soluble solid content. Fruits from inoculated plants became lighter and

with a greater number of fruits per bunch, resulting in greater productivity. Higher levels of water replacement promoted greater productivity.

KEYWORDS: bioinoculant, deficit irrigation, fruit quality, plant growth-promoting bacteria, seed technology

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produtividade das lavouras pode ser afetada por estressores abióticos (salinidade e hídrico) (Ghaderi *et al.*, 2018). No entanto, algumas culturas são mais susceptíveis a alterações indesejadas, destacando alterações anatômicas, fisiológicas e produtivas quando submetidas a estes estressores abióticos (Mozafari *et al.*, 2017).

O estresse hídrico proporcionado pelo déficit hídrico pode promover a degradação da clorofila das plantas (Valença *et al.*, 2018), desencadeando uma série de eventos que culminam em baixa eficiência fotossintética, menor acúmulo de biomassa pela planta, menor potencial de água na folha e na pressão de turgescência, com consequente fechamento estomático (Chandra *et al.*, 2021). Fahad *et al.* (2017) determinaram que o déficit hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo diminui, geralmente advinda da evapotranspiração devido a altas temperaturas. O déficit estressa a planta, altera suas propriedades bioquímicas e moleculares, acarretam crescimento atrofiado das plantas e baixo rendimento (Meena *et al.*, 2017).

Para reduzir os impactos acarretados pelo déficit hídrico, a adoção da prática de inocular bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) pode conferir propriedades benéficas às plantas e, ainda, colonizar a rizosfera das plantas, melhorando o desempenho das plantas em condições de adversidades ambientais (Candido *et al.*, 2015; Naylor; Coleman-Derr, 2018; Jalal *et al.*, 2023). Ademais, este grupo de micro-organismos podem aumentar e estimular a resistência das plantas a pragas e patógenos (Goswami; Deka, 2020).

As BPCP's também têm sido empregadas pelos produtores rurais que buscam sustentabilidade na produção agrícola. Desse modo, os usos de bioinsumos, em especial de bioinoculantes, ganham destaque no cenário mundial por serem capazes de atuar como bioinseticidas ou biofertilizantes, assegurando a saúde e o crescimento das plantas, garantindo maior produtividade das culturas (Chojnacka, 2015; Khatoon *et al.*, 2020; Basu *et al.*, 2021), qualidade das lavouras e frutos (Du Jardin, 2015; Rouphael; Colla, 2018).

Para promover o crescimento das plantas, BPCP utilizam basicamente três mecanismos: i) fitoestimulação pela síntese de fitormônios (e.g. auxinas, citocininas, giberelinas), síntese de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminase, enzima capaz de modular os níveis de etileno, ii) biofertilização pela disponibilização de macro e micronutrientes como N, P, e Fe e iii) controle biológico por meio de competição com fitopatógenos por nutrientes, indução de resistência sistêmica das plantas, produção de antimicrobianos e metabólitos secundários (Perin *et al.*, 2006; Ongena; Jacques, 2008; Berg, 2009; Yang *et al.*, 2009; Martínez-Aguilar *et al.*, 2013; Paungfoo-Lonhienne *et al.*, 2014; Junges *et al.*, 2016; Asari *et al.*, 2016; Borriss, 2016; Asari *et al.*, 2017; Rabbee *et al.*, 2019; Rabbee; Baek, 2020; Goswami; Deka, 2020; Chandra *et al.*, 2021).

Porém, apesar da importância dos micro-organismos em olerícolas, estudos sobre a utilização de BPCP para mitigar os efeitos do déficit hídrico são ainda bastante limitados, com poucas BPCP disponíveis para serem transformadas em produtos comerciais de uso em larga escala (Steffen *et al.*, 2018). Assim, é necessário que cada vez mais pesquisas sejam realizadas para verificar o potencial de micro-organismos em promover o crescimento e desenvolvimento das plantas sob influência de fatores abióticos, como o déficit hídrico.

Dentre as hortaliças mais consumidas e populares no mundo, o tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.) se destaca como uma olerícola altamente responsiva, pertencente à família das Solanáceas (Cardoso *et al.*, 2018), que é amplamente cultivada em ambientes protegidos (Silva *et al.*, 2023). Assim, esta cultura carece de estratégias de manejo que possam reduzir impactos causados pelo déficit hídrico. Por isso, o uso de BPCP na produção de tomate pode ser empregado com o intuito de aumentar a produtividade das lavouras, bem como a resistência dos frutos, a atividade antioxidante e a concentração de metabólitos secundários (Zulfiqar *et al.*, 2020), melhorando a qualidade de frutos. Este último é o principal fator determinante na preferência de compra do consumidor (Fagundes *et al.*, 2015).

Dentre as bactérias utilizadas para a produção de inoculantes comerciais à base de BPCP, destaca-se o gênero *Bacillus*, especialmente, a espécie *Bacillus subtilis*, não patogênica, comumente encontrada no solo. A eficácia entre linhagens pode mudar significativamente, assim, embora haja inoculantes comerciais de *Bacillus subtilis*, a linhagem ATCC 23858 ainda não foi testada para este fim. Algumas bactérias vivem endofiticamente nas plantas, colonizando o interior da planta hospedeira sem causar doenças, como a bactéria *Burkholderia seminalis*. Essa espécie associa-se com diferentes plantas como *Arabidopsis*, repolho chinês, amaranto chinês, alfaces, arroz, cana-de-açúcar, milho e cebola, promovendo o crescimento e a produção vegetal (Aizawa *et al.*, 2011; Panhwar *et al.*, 2014; Araújo *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2021). A *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 que foi isolada de forma endofiticamente de raízes de cana-de-açúcar, além de promover o crescimento vegetal, é reconhecidamente capaz de produzir moléculas bioativas para controlar o crescimento do fungo fitopatogênico *Fusarium oxysporum* e da bactéria fitopatogênica *Burkholderia gladioli* (Araújo *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2017).

Desse modo, BPCP dos gêneros *Bacillus* e *Burkholderia* apresentam potencial para assegurar a produtividade e qualidade de frutos de tomate cereja, pois estas bactérias são capazes de promover o crescimento das plantas de forma direta ou indireta, atuando na solubilização de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio e produção de fitormônios (Mellado *et al.*, 2007; Fan *et al.*, 2017; Rabbee; Baek, 2020) e por apresentarem potencial antimicrobiano (Luvizotto *et al.*, 2010; Dourado *et al.*, 2013; Rabbee *et al.*, 2019; Rabbee; Baek, 2020).

A partir destes pressupostos, objetivou-se com este trabalho analisar o potencial das linhagens *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3 como BPCP na cultura do tomate cereja em condições de déficit hídrico induzido.

1.1 Referências Bibliográficas

AIZAWA, T.; VIJARNSORN, P.; NAKAJIMA, M.; SUNAIRI, M. *Burkholderia bannensis* sp. nov., an acid-neutralizing bacterium isolated from torpedo grass (*Panicum repens*) growing in highly acidic swamps. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 61, n. 7, p. 1645-1650, 2011. doi: 10.1099/ij.s.0.026278-0.

ARAÚJO, F. D. da S.; ARAÚJO, W. L.; EBERLIN, M. N. *Potential of Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 as Biocontrol Agent Against *Fusarium oxysporum* Evaluated by

Mass Spectrometry Imaging. Journal of The American Society for Mass Spectrometry, v. 28, n. 5, p. 901–907, 2017. doi:10.1007/s13361-017-1610-6.

ARAÚJO, W. L.; CREASON, A. L.; MANO, E. T.; CAMARGO-NEVES, A. A.; MINAMI, S. N.; CHANG, J. H.; LOPER, J. E. *Genome sequencing and transposon mutagenesis of Burkholderia seminalis TC3. 4.2 R3 identify genes contributing to suppression of orchid necrosis caused by B. gladioli. Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 29, n. 6, p. 435-446, 2016.

ASARI, S.; MATZÉN, S.; PETERSEN, M. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. *Multiple effects of Bacillus amyloliquefaciens volatile compounds: plant growth promotion and growth inhibition of phytopathogens. FEMS Microbiology Ecology*, v. 92, n. 6, 2016. Doi: 10.1093/femsec/fiw070.

ASARI, S.; TARKOWSKÁ, D.; ROLČÍK, J.; NOVÁK, O.; PALMERO, D. V.; BEJAI, S.; MEIJER, J. *Analysis of plant growth-promoting properties of Bacillus amyloliquefaciens UCMB5113 using Arabidopsis thaliana as host plant. Planta*, v. 245, p. 15-30, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2580-9>.

BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S. N.; KALAM, S.; SAYYED, R. Z.; REDDY, M. S.; EL ENSHASY, H. *Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, conlinhagemts, and prospects. Sustainability*, v. 13, 2021.

BERG, G. *Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. Applied microbiology and biotechnology*, v. 84, p. 11-18, 2009.

BORRIS, R., *Phyostimulation and biocontrol by the plant-associated Bacillus amyloliquefaciens FZB42: an update. In: ISLAM, M.; RAHMAN, M.; PANDEY, P.; JHA, C.; AERON, A. (Eds.), Bacilli and Agrobiotechnology. Springer, Cham, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_8.*

CANDIDO, V.; CAMPANELLI, G.; D'ADDABBO, T.; CASTRONUOVO, D.; PERNIOLA, M.; CAMELE, I. *Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. Scientia Horticulturae*, v. 187, p. 35–43, 2015.

CARDOSO, F. B.; MARTINEZ, H. E. P.; SILVA, D. J. H. D.; MILAGRES, C. D. C.; BARBOSA, J. G. *Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 48, p. 340-349, 2018.

CHANDRA, P.; WUNNAVA, A.; VERMA, P.; CHANDRA, A.; SHARMA, R. K. *Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants – influences of soil bacteria: A review. Pedosphere*, v. 31, n. 3, p. 496–509, 2021. doi:10.1016/S1002-0160(20)60092-3.

CHOJNACKA, K. *Innovative bio-products for agriculture. Open Chemistry*, v.13, n.1, 2015.

DOURADO, M.N.; MARTINS, P.F.; QUECINE, M.C.; PIOTTO, F.A.; SOUZA, L.A.; FRANCO, M.R.; AZEVEDO, R.A. *Burkholderia sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. Annals of Applied Biology*, v.163, n. 3, p. 494-507, 2013. Doi:10.1111/aab.12066

- DU JARDIN, P. *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia horticulturae*, v. 196, p. 3-14, 2015. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- FAGUNDES, C.; MORAES, K.; PÉREZ-GAGO, M.B.; PALOU, L.; MARASCHIN, M.; MONTEIRO, A.R. *Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. Postharvest Biology and Technology*, v. 109, p. 73–81, 2015. Doi: doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017.
- FAHAD, S.; BAJWA, A. A.; NAZIR, U.; ANJUM, S. A.; FAROOQ, A.; ZOHAIB, A.; SADIA, S.; NASIM, W. ADKINS, S.; SAUD, S.; IHSAN, M. Z. ALHARBY, H.; WU, C.; WANG, D. P.; HAUNG, J. L. *Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 1147, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- FAN, B.; BLOM, J.; KLENK, H.P.; BORRISS, R. *Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus velezensis and Bacillus siamensis form an “operational group B. amyloliquefaciens” within the B. subtilis species complex. Frontiers in microbiology*, v. 8, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00022>.
- GHADERI, N.; HATAMI, M.; MOZAFARI, A.; SIOSEHMARDEH, A. *Change in antioxidant enzymes activity and some morphophysiological characteristics of strawberry under long-term salt stress. Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 24, p. 833–843, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0535-2>.
- GOSWAMI, M.; DEKA, S. *Plant growth-promoting rhizobacteria – alleviators of abiotic stresses in soil: A review. Pedosphere*, v. 30, p. 40–61, 2020.
- HWANG, H. H.; CHIEN, P. R.; HUANG, F. C.; HUNG, S. H.; KUO, C. H.; DENG, W. L.; HUANG, C. C. *A plant endophytic bacterium, Burkholderia seminalis strain 869T2, promotes plant growth in Arabidopsis, pak choi, Chinese amaranth, lettuces, and other vegetables. Microorganisms*, v. 9, n. 8, p. 1703, 2021.
- JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. D. S.; BASTOS, A. D. C.; FERNANDES, G. C.; LIMA, B. H.; FURLANI-JUNIOR, E.; TEIXEIRA-FILHO, M. C. M. *Nanozinc and plant growth-promoting bacteria improve biochemical and metabolic attributes of maize in tropical Cerrado. Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2023.
- JUNGES, E.; BRIÃO MUNIZ, M. F.; BASTOS, B. D. O.; ORUOSKI, P. *Biopriming in bean seeds. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, v. 66, n.3, p. 207-214, 2016. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087585>
- KHATOON, Z.; HUANG, S.; RAFIQUE, M.; FAKHAR, A.; KAMRAN, M. A.; SANTOYO, G. *Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. Journal of Environmental Management*, v. 273, p.111-118, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>.
- LUVIZOTTO, D. M.; MARCON, J.; ANDREOTE, F. D.; ANDREOTE, F. D.; NEVES, A. A.; ARAÚJO, W. L.; KLEINER, A. A. P. *Genetic diversity and plant-growth related features of Burkholderia spp. from sugarcane roots. World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 26, p. 1829-1836, 2010.
- MARTÍNEZ-AGUILAR, L.; SALAZAR-SALAZAR, C.; MÉNDEZ, R. D.; CABALLERO-MELLADO, J.; HIRSCH, A. M.; VÁSQUEZ-MURRIETA, M. S.; ESTRADA-DE LOS SANTOS, P. *Burkholderia caballeronis sp. nov., a nitrogen fixing species isolated from tomato (Lycopersicon esculentum) with the ability to effectively*

nodulate Phaseolus vulgaris. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 104, n. 6, p. 1063-1071, 2013. doi: 10.1007/s10482-013-0028-9

MEENA, K. K.; SORTY, A. M.; BITLA, U. M.; CHOUDHARY, K.; GUPTA, P.; PAREEK, A.; SINGH, D. P.; PRABHA, R.; SAHU, P. K.; GUPTA, V. K.; SINGH, H. B.; KRISHANANI, K. K.; MINHAS, P. S. *Abiotic stress responses and microbe-mediated mitigation in plants: The omics strategies*. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 172, 2017.

MELLADO, J. C.; LEMUS, J. O.; SANTOS, P. E.; AGUILAR, L. M. *The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing Burkholderia species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation*. **Applied and environmental microbiology**, v. 73, n. 1, p. 5308-5319, 2007.

MOZAFARI, A.; HAVAS, F.; GHADERI, N. *Application of iron nanoparticles and salicylic acid in in vitro culture of strawberries (Fragaria × ananassa Duch.) to cope with drought stress*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 132, p. 511–523, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1347-8>.

NAYLOR, D.; COLEMAN-DERR, D. *Drought stress and root-associated bacterial communities*. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 2223, 2018.

ONGENA M.; JACQUES, P. *Bacillus lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol*. **Trends in Microbiology**, v. 16, p. 115-125, 2008.

PANHWAR, Q. A.; SHAMSHUDDIN, J.; NAHER, U. A.; RADZIAH, O.; RAZI, I. M. *Biochemical and molecular characterization of potential phosphate-solubilizing bacteria in acid sulfate soils and their beneficial effects on rice growth*. **PLoS One**, v. 9, n. 10, 2014.

PAUNGFUO-LONHIENNE, C.; LONHIENNE, T. G.; YEOH, Y. K.; WEBB, R. I.; LAKSHMANAN, P.; CHAN, C. X.; LIM, P. E.; RAGAN, M. A.; SCHMIDT, S.; HUGENHOLTZ P. *A new species of Burkholderia isolated from sugarcane roots promotes plant growth*. **Microbial Biotechnology**, v. 7, n. 2, p.142-54, 2014. doi: 10.1111/1751-7915.12105.

PERIN, L.; MARTINEZ-AGUILAR, L.; CASTRO-GONZALEZ, R.; ESTRADA-DE LOS SANTOS, P; CABELLOS-AVELAR, T.; GUEDES, H. V.; REIS, V. M.; CABALLERO-MELLADO, J. *Diazotrophic Burkholderia species associated with field-grown maize and sugarcane*. **Applied and environmental microbiology**, v. 72, n. 5, p. 3103–3110, 2006.

RABBEE, F. M.; BAEK, K. H. *Antimicrobial activities of lipopeptides and polyketides of Bacillus velezensis for agricultural applications*. **Molecules**, v. 25, n. 21, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25214973>.

RABBEE, M. F.; ALI, M. S.; CHOI, J.; HWANG, B. S.; JEONG, S. C.; BAEK, K. H. *Bacillus velezensis: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes*. **Molecules**, v. 24, n. 6, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24061046>.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. *Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1655, 2018.

SILVA, P. C.; FERREIRA, A. F. A.; ARAÚJO, E. S.; BESSA NETO, J. V.; COSTA, A. R.; FERNANDES, L. S.; MARTINS, A. A. S.; CÂNDIDO, R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; PANDORFI, H.; SILVA, M. V. *Cherry Tomato Crop Management Under*

Irrigation Levels: Morphometric Characteristics and Their Relationship with Fruit Production and Quality. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, p. 1277–1288, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00770-8>

STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, R. B. *Trichoderma* controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja. **Campos & Negócios online**, 2018.

VALENÇA, D. D. C.; CARVALHO, D. F. D.; REINERT, F.; AZEVEDO, R. A.; PINHO, C. F. D.; MEDICI, L. O. *Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”*. **Scientia Agricola**, v. 75, p. 52-59, 2018.

YANG, J.; KLOEPPER, J. W.; RYU, C. M. *Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress*. **Trends in plant science**, v. 14, n. 1, p. 1-4, 2009. Doi: 10.1016/j.tplants.2008.10.004.

ZULFIQAR, F.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M. *Osmoprotection in plants under abiotic stresses: new insights into a classical phenomenon*. **Planta**, v. 251, p. 1-17, 2020. Doi: 10.1007/s00425-019-03293-1.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos da inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas de tomate cereja sob déficit hídrico induzido.

2.2 Objetivos Específicos

Estudar os efeitos da inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 sob a germinação e crescimento inicial do tomate cereja comum.

Avaliar o potencial das bactérias *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 em auxiliar plantas de tomate cereja em condições de déficit hídrico induzido.

Verificar a produtividade e a qualidade de frutos de plantas de tomate cereja inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3.

3. CAPÍTULO I

(Normas da revista *European Journal Agronomy*)

***Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* na promoção do crescimento de *Solanum lycopersicum* L.**

RESUMO: O uso de micro-organismos tem se mostrado uma técnica promissora na agricultura, imprimindo maior eficiência no uso de água e nutrientes pelas culturas. Assim, é fundamental pesquisas que vislumbrem quantificar o potencial de uso desta tecnologia. Neste sentido, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos da inoculação com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3 sobre os parâmetros morfométricos de plantas e frutos de tomate cereja comum (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) em ambiente protegido. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos: inoculação com i) *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ii) *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e iii) sem inoculação (SI), em oito blocos. As análises morfométricas e de rendimento foram realizadas aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS) e aos 135 dias após o transplante (DAT). Aos 15 DAS avaliou-se a taxa de germinação e a velocidade de emergência. Aos 135 DAT avaliou-se o teor de clorofila e carotenoides, conteúdo hídrico foliar, produtividade e a qualidade de frutos. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,01$ e $P < 0,05$). Aplicou-se também a análise estatística multivariada de componentes principais. Aos 30 DAS, as mudas inoculadas com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* diferiram estatisticamente ($P < 0,01$) em relação ao tratamento sem inoculação para índice de velocidade de emergência (IVE), massa fresca (MFPA) e massa seca (MSPA) de parte aérea e comprimento de raiz (CR). *Burkholderia seminalis* proporcionou maior taxa de germinação ($P < 0,05$) em relação ao tratamento SI, enquanto *Bacillus subtilis* proporcionou ($P < 0,01$) maior altura de plantas e (MFR) e (MSR) de raiz em relação ao tratamento SI. A inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* aumentaram a produtividade em relação ao tratamento sem inoculação em 9,56% e em 4,3%, respectivamente. O teor de sólidos solúveis de frutos aumentou em 9,25% e 12,33% em razão da inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* em relação ao tratamento sem inoculação. A inoculação também promoveu maior resistência mecânica

de frutos quanto a compressão e punção. Na análise de componentes principais (ACP), o somatório da variância correspondeu a 64,84% do conjunto total dos dados. Logo, a inoculação com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* promove o crescimento vegetal, produtividade e traz incrementos qualitativos dos frutos destacando seu potencial no manejo agrícola sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: bioinoculante, bactérias promotoras de crescimento de plantas, solanáceas, tomate

3.1. Introdução

Cada vez mais produtores rurais têm buscado a sustentabilidade da produção agrícola, empregando-se insumos biológicos capazes de controlar pragas e doenças e promover o crescimento de plantas. Por isso, o uso de bioinsumos tem ganhado destaque, por atuarem como bioinseticidas ou biofertilizantes, promovendo a saúde e o crescimento das plantas, garantindo maior produtividade às culturas (Chojnacka, 2015; Khatoon et al., 2020; Basu et al., 2021), qualidade às lavouras e frutos (Du Jardin, 2015; Rouphael e Colla, 2018). Destaca-se o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), que são capazes de reduzir impactos causados por estressores bióticos e abióticos (Alcantara e Porto, 2019).

Para promover o crescimento das plantas, BPCP utilizam basicamente três mecanismos: i) fitoestimulação pela síntese de fitormônios (e.g. auxinas, citocininas, giberelinas), síntese de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminase, enzima capaz de modular os níveis de etileno, ii) biofertilização pela disponibilização de macro e micronutrientes como N, P, e Fe e iii) controle biológico por meio de competição com fitopatógenos por nutrientes, indução de resistência sistêmica das plantas, produção de antimicrobianos e metabólitos secundários (Perin et al., 2006; Ongena e Jacques, 2008; Berg, 2009; Yang et al., 2009; Martínez-Aguilar et al., 2013; Paungfoo-Lonhienne et al., 2014; Junges et al., 2016; Asari et al., 2016; Borriss, 2016; Asari et al., 2017;

Rabbee et al., 2019; Rabbee e Baek, 2020; Goswami e Deka, 2020; Chandra et al., 2021).

Dentre as culturas agrícolas, este trabalho destaca o tomate, uma das hortaliças mais consumidas e populares no mundo, pertencente à família das Solanáceas (Cardoso et al., 2018). Por ser amplamente cultivada, especialmente em ambientes protegidos (Silva et al., 2023), a cultura carece de estratégias de manejo que possam minimizar os impactos causados por patógenos, pragas e/ou estressores abióticos, como déficit hídrico e salinidade. Por isso, o uso de inoculantes na produção de tomate tem sido feito com a finalidade de aumentar a produtividade das lavouras, bem como a resistência dos frutos, a atividade antioxidante e a concentração de metabólitos secundários (Zulfiqar et al., 2020).

Dentre as bactérias utilizadas para a produção de inoculantes comerciais à base de BPCP, destaca-se o gênero *Bacillus*, composto por bactérias em forma de bastão, formadoras de esporos, membros do filo Firmicutes, especialmente, a espécie *Bacillus subtilis*, não patogênica, comumente encontrada no solo. A eficácia entre linhagens pode mudar significativamente, assim, embora haja inoculantes comerciais de *Bacillus subtilis*, a linhagem ATCC 23858 ainda não foi testada para este fim. Algumas bactérias vivem dentro das plantas. Essas bactérias colonizam o interior da planta hospedeira sem causar doenças, sendo denominadas endofíticas, como a espécie *Burkholderia seminalis*. Essa espécie associa-se com diferentes plantas como *Arabidopsis*, repolho chinês, amaranto chinês, alfaces, arroz, cana-de-açúcar, milho e cebola, promovendo o crescimento e a produção vegetal (Aizawa et al., 2011; Panhwar et al., 2014; Araújo et al., 2016; Hwang et al., 2021). A *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 isolada endofiticamente de raízes de cana-de-açúcar, além de promover o crescimento vegetal, é reconhecidamente capaz de produzir moléculas bioativas para controlar o crescimento

do fungo fitopatogênico *Fusarium oxysporum* e da bactéria fitopatogênica *Burkholderia gladioli* (Araújo et al., 2016; Araújo et al., 2017).

Portanto, objetivou-se com este trabalho analisar a taxa de germinação, a velocidade de emergência, o desenvolvimento das mudas, as características morfométricas, os atributos tecnológicos e a produtividade do tomate cereja inoculado com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3, em ambiente protegido.

3.2. Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido entre os meses de abril e outubro de 2022, em casa de vegetação localizada na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano – *Campus Ceres*), no município de Ceres, Goiás, Brasil (15°21'02"S de latitude 49°35'55"W de longitude, e altitude de 564 m) (**Fig. 1**). Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima da região é Aw, tropical com estação seca durante o inverno (Peel et al., 2007).

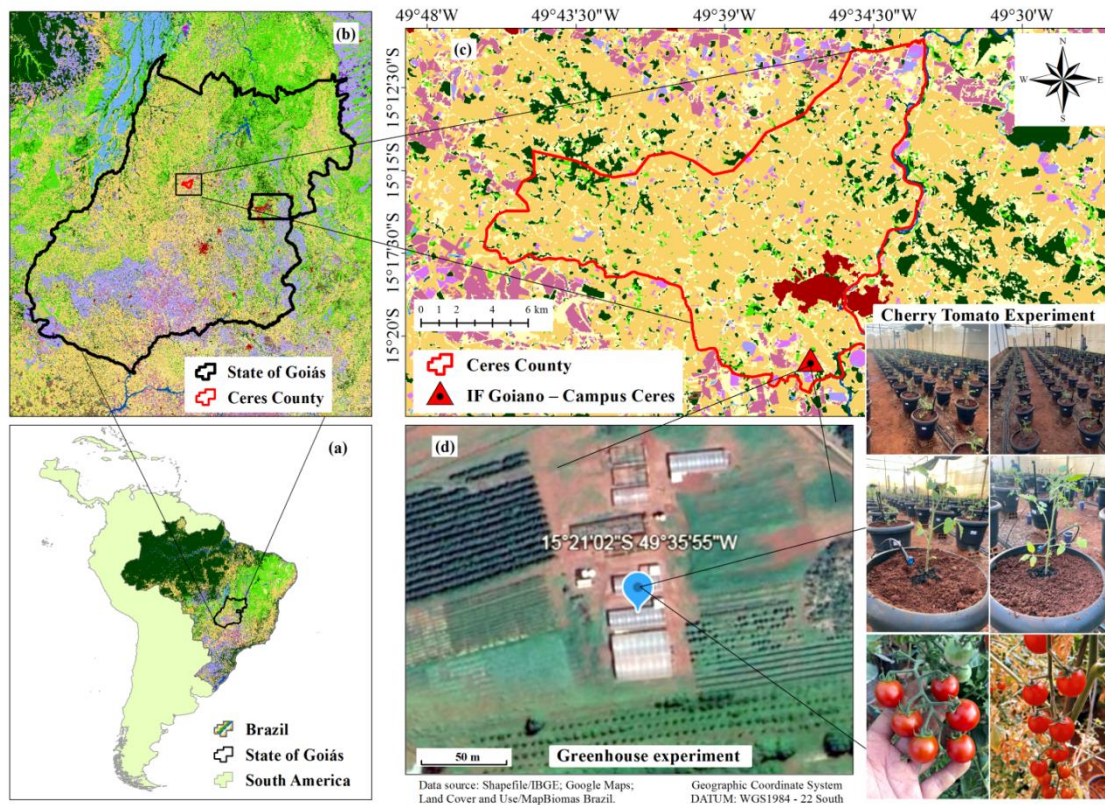


Fig. 1. Localização espacial da área de estudo, área experimental em ambiente protegido (d) do IF Goiano – *Campus Ceres* (c), localizado no estado de Góias (b), Brasil (a).

A temperatura e umidade relativa dentro da casa de vegetação foram registradas usando uma estação meteorológica (Vantage Pro 2; Davis; Hayward, CA, EUA). Visualizado na **Fig. 2**, as temperaturas mínima e máxima do ar registradas foram de 8,8 e 38,6 °C e a umidade relativa variou de 41,4% a 85,6%, respectivamente. Os valores médios de temperatura e umidade relativa ao longo do estudo foram de 23,4 °C e 62,4%, respectivamente.

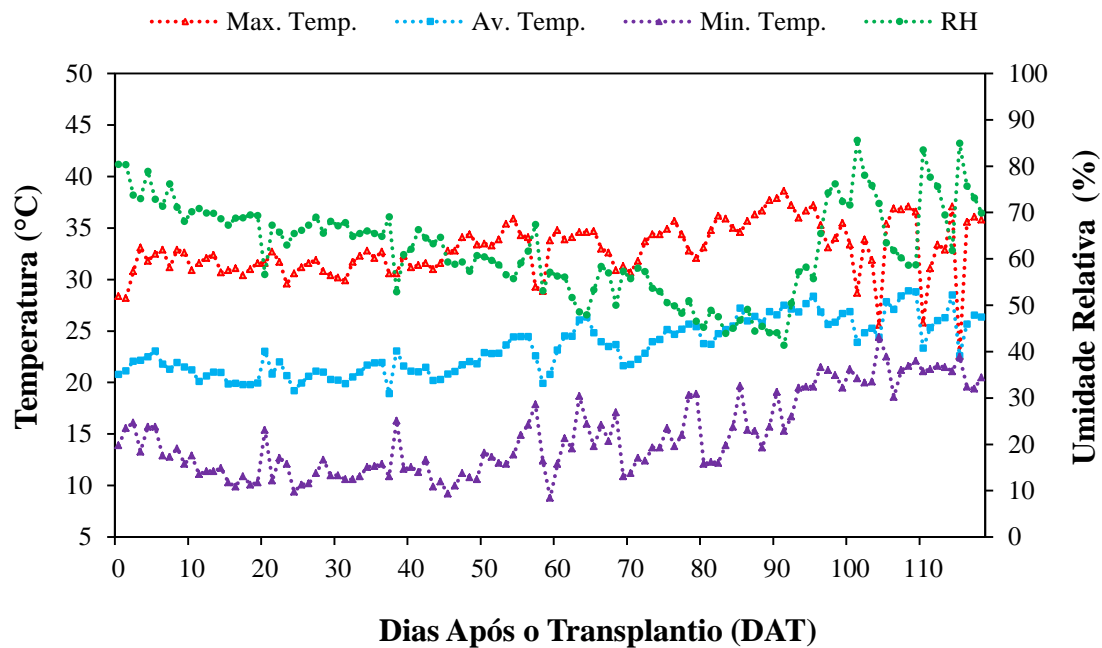


Fig. 2. Temperatura máxima (Max. Temp.), mínima (Min. Temp.), média (Av. Temp.) (°C) e umidade relativa (RH) do ar (%) diária durante a condução do experimento em casa de vegetação, no IF Goiano – Campus Ceres.

3.2.2 Ensaios Laboratoriais

3.2.2.1 Atividade antagônica *in vitro* de *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3

Os tratamentos de inoculação avaliados em ambos os ensaios de germinação e em casa de vegetação foram definidos após a verificação da compatibilidade entre as bactérias *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Utilizou-se a metodologia de antibiose por difusão em dupla camada de meio de cultura agarizado, conforme descrita por Romero (2005). Uma colônia de *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 foi semeada, separadamente, no centro da placa de Petri contendo ágar nutriente (Kasvi®), em triplicata. As placas foram incubadas em B.O.D. a 28 °C por 48 h. Posteriormente, as colônias foram mortas por meio da exposição ao vapor de clorofórmio por 1 h, adicionando-se 1 mL de clorofórmio na tampa das placas. Em seguida, foi adicionada uma sobrecamada de 15

mL de caldo nutriente (Kasvi®), contendo 0,5% de ágar acrescido de 0,2 mL de suspensão de *Bacillus subtilis* ATCC 23858 nas placas que haviam sido cultivadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e vice-versa. As placas foram mantidas em B.O.D. a 28 °C por 48 h e, após este período, os halos de inibição ao redor da colônia foram medidos.

A atividade antagônica *in vitro* revelou o antagonismo entre *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Por isso, optou-se pela inoculação das bactérias isoladamente e não em consórcio.

3.2.2.2 Germinação de sementes de tomate in vitro

Para o teste de germinação, foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos, que consistiram em inoculação com i) *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e ii) *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e o controle iii) sem inoculação (SI), em oito blocos.

As bactérias foram cultivadas em caldo nutriente (Kasvi®) e incubadas a 28 °C em Incubadora Shaker (Solab, modelo SL 222, Piracicaba, SP, Brasil) a 150 rpm por 24 h. O inóculo foi padronizado por densidade óptica (D.O) de 1.0 a 600 nm em espectrofotômetro (Duplofeixe UV-Visível, Global Analyzer, modelo GTA-101, Calgary, Canadá), para obter concentração final de 10^9 Unidades Formadoras de Colônia (UFC) mL⁻¹.

As sementes de tomate cereja (TopSeed Garden, linha blueline, Monte Alto, São Paulo, Brasil) foram desinfetadas superficialmente por imersão em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl 1%) por um minuto e, em seguida, álcool 70% por mais um minuto (Araújo et al., 2001). Posteriormente, as sementes foram lavadas em água destilada estéril e dispostas em papel filtro estéril para secagem natural.

Após este processo as sementes foram microbiolizadas com as suspensões bacterianas por 20 minutos, na proporção de 1 mL de bioinoculante g^{-1} de semente, em capela de fluxo laminar. Para o tratamento sem inoculação as sementes foram embebidas em caldo nutriente estéril, sob as mesmas condições.

Foram avaliadas 50 sementes por bloco, totalizando 400 sementes por tratamento. As sementes foram dispostas em papel mata borrão estéril umedecido na proporção de 1:2,5 (m/v), sendo um grama de papel mata borrão para 2,5 mL de água destilada estéril. O papel mata borrão umedecido foi acondicionado em caixas de germinação Gerbox, as quais foram incubadas a 25 °C por 14 dias em B.O.D. sem fotoperíodo, conforme descrito no RAS (Brasil, 2009). Ao fim do período de incubação foi determinada a taxa de germinação ($(n^{\circ} \text{plântulas normais} \times 100) / 50$).

3.2.3 Cultivo em casa de vegetação

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos, que consistiram em inoculação com i) *Bacillus subtilis* ATCC 23858, ii) *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e controle iii) sem inoculação (SI), com oito blocos. Cada parcela experimental foi composta por oito plantas.

O espaçamento utilizado foi de 0,7 m entre plantas, 0,7 m entre linhas e 1 m entre linhas duplas, equivalente a uma população de 20.408 plantas por hectare. As plantas foram tutoradas com o sistema vertical em fitilhos e o manejo preventivo de doenças realizado através da aplicação de calda bordalesa aos 10 dias após o transplante (DAT), aplicação de fungicida sistêmico Score ® e inseticida sistêmico, de contato e de ingestão Platinum Neo (Lagare), conforme recomendações da bula. Realizou-se a retirada dos brotos laterais (desbaste) semanalmente a partir dos 30 DAT. O manejo de plantas daninhas foi realizado, tanto nos vasos quanto no chão, manualmente durante todo o período experimental.

3.2.3.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental

As sementes de tomate cereja foram desinfetadas e microbiolizadas. Após isso, foi realizada a semeadura em bandejas de poliestireno expandido, com 128 células (Isoeste, Castanhal, PA, Brasil), contendo substrato Topstrato HA Hortaliças (Genfértil, Provaso, Indústria e Comércio de Fertilizantes Orgânicos, Mogi Mirim, São Paulo, Brasil), composto por casca de pinus, vermiculita, PG Mix 14.16.18, nitrato de potássio, superfosfato simples e turfa.

Aos 15 dias após a semeadura (DAS), foi determinado o índice de velocidade de emergência (IVE) (Popinigis, 1985) e análises morfométricas das plântulas. Demais plântulas foram repicadas para recipientes de 200 cm³ contendo o mesmo tipo de substrato onde foi realizada a reinoculação com 5 mL de suspensão bacteriana (10⁹ UFC ml⁻¹) via drenching na base da planta. O tratamento sem inoculação recebeu 5 mL de caldo nutriente estéril.

Aos 30 DAS, as mudas foram transplantadas para vasos comerciais flexíveis de 16 L (dimensões: 23,5 cm de altura, 27 cm de largura parte superior e 23,5 cm na base) contendo substrato composto por solo e areia na proporção 2:1. O solo utilizado para preparo do substrato era composto de 34,9% de areia, 19,5% de silte e 45,5% de argila; pH (em H₂O) 4,4; matéria orgânica: 17,8 g dm⁻³; cálcio 3,5 cmolc dm⁻³; magnésio: 1,4 cmolc dm⁻³; potássio: 102,7 mg dm⁻³ e fósforo: 3,5 mg dm⁻³; saturação de base: 60,25%.

Após o transplante para os vasos, foi realizada a reinoculação com suspensão bacteriana (10⁹ UFC ml⁻¹) via drenching na base da planta, aplicando-se 10 mL de solução bacteriana e novas inoculações realizadas quinzenalmente até os 120 DAT. O tratamento sem inoculação recebeu caldo nutriente estéril nas mesmas condições.

Antes do transplante, a umidade dos substratos contidos nos vasos foi elevada à capacidade do vaso (0,37 m³ m⁻³) (Casaroli e De Jong Van Lier, 2008; Agbna et al.,

2017) e as irrigações diárias repuseram o volume de água necessário para retornar a este parâmetro.

A partir do transplante até aos 135 DAT, foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores do tipo botão com vazão de 2 L h⁻¹ e fluxo autocompensante. A irrigação foi controlada por um sistema automatizado (Campos et al., 2021), o qual coletava e processava os dados de sensores de umidade do solo (10HS; METER Group, Pullman, WA, USA). Os sensores foram submetidos à calibração específica para o substrato, conforme metodologia descrita por Cobos e Chambers (2010).

As leituras dos sensores foram realizadas a cada 30 minutos e, quando o conteúdo volumétrico de água (CVA) do substrato indicava valores abaixo do limite pré-estabelecido (0,37 m³ m⁻³), o sistema de irrigação acionava automaticamente as válvulas solenóides (HVF-100; Rain Bird, Azusa, CA, USA), permanecendo ligado por 60 segundos, aplicando um volume de água de 33 mL, correspondente a uma lâmina de 0,60 mm.

3.2.3.2 Análises experimentais

3.2.3.2.1 Análises morfométricas das plantas

As análises morfométricas foram realizadas aos 15 e 30 DAS, sendo avaliado altura de plantas, diâmetro do caule, e comprimento de radícula e raiz, com auxílio de paquímetro digital (King Tools, Pompéia, SP, Brasil). Aos 30 DAS, foram avaliados o número de folhas e o volume de raiz (cm³), pelo método da proveta (Basso, 1999).

A análise de produção de biomassa foi realizada aos 15 e 30 DAS, sendo determinada a massa fresca da parte aérea (MFPA) e da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), da radícula (MSR) e da raiz (MSR). Aos 135 DAT foi avaliado volume da raiz (VR), comprimento da raiz (CR), massa fresca de raiz (MFR), massa seca de raiz

(MSR), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), seguindo metodologia descrita por Borges et al. (2011), mantendo a massa fresca em estufa de circulação de ar forçada por 72 h, a uma temperatura de 65 °C.

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi determinada conforme Magalhães (1985), Equação 1.

$$TCR = ((\ln(MSR30+MSPA30)) - (\ln(MSR15+MSPA15))) / (t30-t15) \quad (1)$$

Em que:

ln = logaritmo natural;

t15 = tempo da análise biométrica nas plântulas;

t30 = tempo da análise biométrica nas mudas;

MSPA15 = massa seca da parte aérea aos 15 DAS;

MSPA30 = massa seca parte aérea aos 30 DAS;

MSR15 = massa seca da radícula aos 15 DAS;

MSR30 = massa seca da raiz aos 30 DAS.

3.2.3.2.2 Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos

As colheitas foram realizadas quinzenalmente a partir dos 60 DAT, totalizando quatro colheitas ao longo do período experimental. Após cada colheita foram avaliados diâmetro latitudinal (Dlat, mm) e diâmetro longitudinal (Dlong, mm) dos frutos, utilizando um paquímetro digital (King Tools, Pompéia, SP, Brazil), peso médio do fruto (Pfmédio), número de cachos (NC), número de frutos por cacho (NFC), número de sementes por fruto (NSF) e produtividade total (PROD, t ha⁻¹).

Os parâmetros de qualidade dos tomates foram avaliados a partir das análises físico-químicas de pH, teor de sólidos solúveis, atividade de água e acidez titulável,

utilizando 10 frutos de cada tratamento por colheita. As avaliações foram realizadas em triplicata.

O pH foi medido diretamente nas amostras por método eletrométrico (AOAC, 1998). O teor de sólidos solúveis totais foi quantificado utilizando um refratômetro digital (Brix/RI-Check; Reichert Technologies, Unterschleissheim, Munich, Germany), com resultados expressos em °Brix (AOAC, 1998).

Para a acidez titulável, foram utilizados 5 g do suco de tomate homogeneizado, em balão volumétrico de 100 mL, cujo volume foi completado com água destilada. Uma alíquota de 10 mL desta solução foi transferida para um erlenmeyer de 50 mL e adicionados 2 a 3 gotas de indicador fenolftaleína. A amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,01N até atingir coloração rósea.

A atividade de água foi realizada por leitura direta da amostra em um aparelho AquaLab digital, modelo CX-2 (Pullman, EUA).

A textura dos tomates inteiros foi avaliada pelo Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England) avaliando a compressão e punção dos frutos. Para velocidade do pré-teste, teste e pós-teste, adotou-se as velocidades de 2, 1 e 10 mm s⁻¹, respectivamente. A altura máxima das amostras para calibração foi de 20 mm e a probe para compressão e de punção foram P100 e P2, nesta ordem. Não foi utilizada lubrificação e a deformação foi de 50%.

3.2.3.2.3 Análises fisiológicas das plantas

Para a análise de pigmentos (Clorofila A, Clorofila B e Carotenóides) foram utilizados seis discos foliares de 6 mm de diâmetro cada, deixados em solução de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio, em banho maria à 65 °C por 24 h antes de serem realizadas leituras no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 649, 665 e 480 nm, utilizando a metodologia descrita por Wellburn (1994).

Para determinação do conteúdo relativo de água foram utilizados seis discos foliares de 6 mm de diâmetro cada. Após serem pesados, esses discos foram embebidos em água destilada e armazenados em geladeira, por um período de 6 h. Os discos foram então pesados novamente para determinação do peso túrgido, e posteriormente, foram levados à estufa com circulação forçada de ar, a 80 °C, por um período de 24 h, para determinação do peso seco. Após a obtenção do peso fresco, túrgido e seco dos discos foliares, o conteúdo hídrico foliar de água (CHF) foi determinado de acordo com Equação 2 de Smart e Bingham (1974):

$$\text{CHF (\%)} = (\text{MF} - \text{MS} / \text{MT} - \text{MS}) * 100 \dots \dots \dots (2)$$

Sendo:

CHF: conteúdo hídrico foliar de água,

MF: Massa fresca dos discos foliares,

MS: Massa seca dos discos foliares,

MT: Massa túrgida dos discos foliares

3.2.4 Análises Estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade de dados de Shapiro-Wilk (5%) para verificação da homocedasticidade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as variáveis significativas foram comparadas pelo teste de comparação de médias de Tukey aos níveis de 5% e 1% de significância. Todas as análises foram realizadas pelo software R Statistical, versão R-4.2.1 for *Windows* (Oswaldo Cruz Foundation, Rio de Janeiro).

Para avaliar a relação entre as inoculações (*Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação - controle) e o conjunto de variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), comprimento de raiz (CR), volume de raiz (VR) teor de sólidos solúveis (BRIX), produtividade (PROD), número de cachos por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), peso médio do fruto (Pfmédio), conteúdo hídrico foliar (CHF), diâmetro do colmo (DC), diâmetro latitudinal do fruto (Dlat), diâmetro longitudinal do fruto (Dlong) e número de sementes por fruto (NSF), realizou-se análise estatística multivariada, a partir da análise de componentes principais (ACP).

Para identificação das variáveis que apresentaram correlação, utilizou-se o critério de Kaiser, com base nos autovalores acima de 1, que geram CP com quantidade relevante de informação contida nos dados originais (Kaiser, 1958). De modo que, observa-se as possíveis relações e/ou diferenças dentre o conjunto de variáveis a partir da correlação. Tais análises foram realizadas no software R, versão 3.6.1 (R Core Team, 2019). As análises de CP foram realizadas utilizando R e RStudio, versão R 3.3.0+ (R Core Team, 2023).

3.3. Resultados

3.3.1 Ensaio Laboratoriais

3.3.1.1 Antagonismo in vitro

O teste de antibiose por difusão em dupla camada de meio de cultura agarizado revelou antagonismo discreto entre as linhagens bacterianas estudadas (**Fig. 3**). Conforme observado na Figura 3-B, e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 inibiu, ainda

que discretamente, o crescimento de *Bacillus subtilis* ATCC 23858, com halo de inibição de 2,5 mm ao redor da colônia. O halo total (colônia e inibição) foi de 1,2 cm.

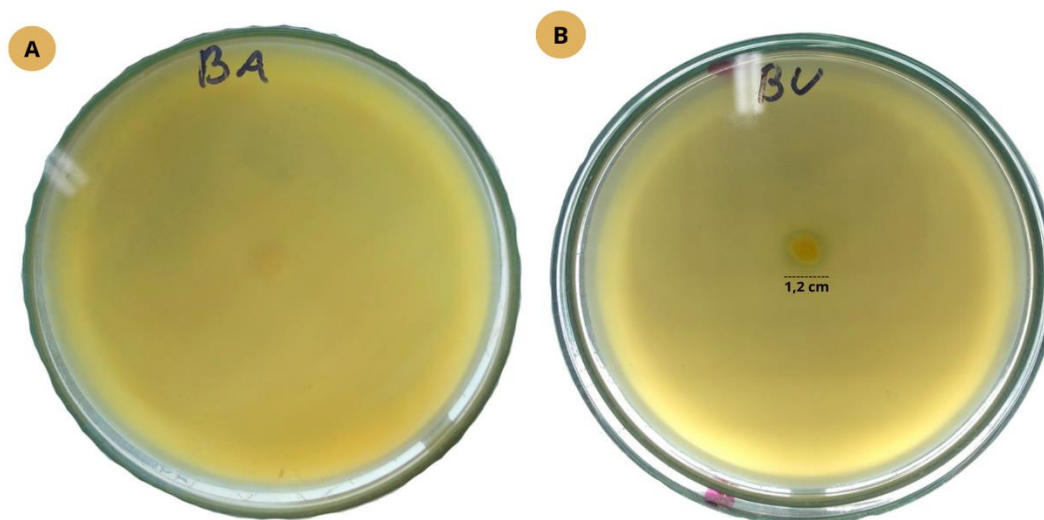


Fig. 3. Teste de antibiose pelo método da sobrecamada. A) Placa previamente cultivada com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 inoculada posteriormente com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 ; B) Placa previamente cultivada com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 inoculada posteriormente com *Bacillus subtilis* ATCC 23858.

3.3.1.2 Germinação de sementes de tomate *in vitro*

A inoculação foi significativa para o teste de germinação ($P < 0,05$) (Tabela 1). Sementes inoculadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram maiores taxas de germinação ($P < 0,05$), sendo 72,5%, seguidas por sementes inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 67,5% e do tratamento sem inoculação (SI) 61,0% (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa de germinação de tomate cereja após a microbiolização.

Microbiolização	Germinação (%)
Sem inoculação	61,0 ± 10,09 b
<i>Bacillus subtilis</i>	67,5 ± 7,01 ab
<i>Burkholderia seminalis</i>	72,5 ± 7,91 a
F.V.	p-value
Microbiolização	0,0433*
C.V. (%)	12,23

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo; F.V.: fonte de variação; C.V. (%): coeficiente de variação.

3.3.2 Cultivo em casa de vegetação

3.3.2.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental

A inoculação foi significativa para o índice de velocidade de emergência (IVE) ($P < 0,01$) (**Tabela 2**). Sementes inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram maiores índices de velocidade de emergência, 6,77 e 6,54, respectivamente ($P < 0,01$), não diferindo entre si estatisticamente, no entanto diferindo em relação ao tratamento sem inoculação (3,61), demonstrando que a inoculação promove o crescimento do tomate, acelerando a emergência das plântulas.

Tabela 2. Índice de velocidade de emergência (IVE) de tomate cereja após a microbiolização.

Microbiolização	IVE
Sem inoculação	3,61 b
<i>Bacillus subtilis</i>	6,77 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	6,54 a
F.V.	p-value
Microbiolização	0,0042**
C.V. (%)	18,35

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo; F.V.: fonte de variação; C.V. (%): coeficiente de variação.

3.3.2.2 Análises experimentais

3.3.2.2.1 Análises morfológicas das plantas

Plântulas provenientes de sementes microbiolizadas produziram mais massa seca e apresentaram maior comprimento da radícula ($P < 0,01$) (**Tabela 3**) aos 15 DAS.

Tabela 3. Diâmetro do caule (DC15), altura da plântula (H15), massa fresca da parte aérea (MFPA15), massa fresca da raiz (MFR15), massa seca da parte aérea (MSPA15), massa seca da raiz (MSR15) e comprimento de radícula (CR15) das plântulas aos 15 DAS.

Microbiolização	D15	H15	MFPA15	MSPA15
	mm		mg	
Sem inoculação	0,67 ± 0,14 a	20,65 ± 4,65 a	10,69 ± 1,32 a	1,65 ± 0,29 a
<i>Bacillus subtilis</i>	0,78 ± 0,08 a	21,37 ± 2,60 a	10,91 ± 1,21 a	1,80 ± 0,49 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	0,81 ± 0,29 a	22,04 ± 3,96 a	10,37 ± 1,62 a	1,73 ± 0,29 a
F.V.	p-values			
Microbiolização	0,4033ns	0,7567ns	0,7805ns	0,7381ns
C.V. (%)	27,32	17,28	14,46	21,77

Microbiolização	CR15	MFR15	MSR15
	mm	mg	
Sem inoculação	25,31 ± 7,02 c	6,43 ± 1,33 a	0,60 ± 0,20 b
<i>Bacillus subtilis</i>	57,77 ± 4,62 a	13,10 ± 1,825 a	1,02 ± 0,13 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	39,19 ± 9,09 b	8,70 ± 1,52 a	0,72 ± 0,29 b
F.V.	p-values		
Microbiolização	<0,001**	0,4298ns	<0,001**
C.V. (%)	17,00	106,92	21,03

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo; F.V.: fonte de variação; C.V. (%): coeficiente de variação.

Conforme observado na **Tabela 3**, plântulas de sementes inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 apresentaram 1,02 mg de massa seca de radícula, sendo 70% superior ao tratamento sem inoculação (0,60 mg). Além disso, foi observado maior comprimento de radícula (57,57 mm), sendo 1,47 vezes superior ao tratamento inoculado com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (39,19 mm) e 2,28 vezes superior ao tratamento sem inoculação (25,31 mm) (**Fig. 4**). A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 em relação ao tratamento sem inoculação aumentou o comprimento de radícula em 1,55 vezes.

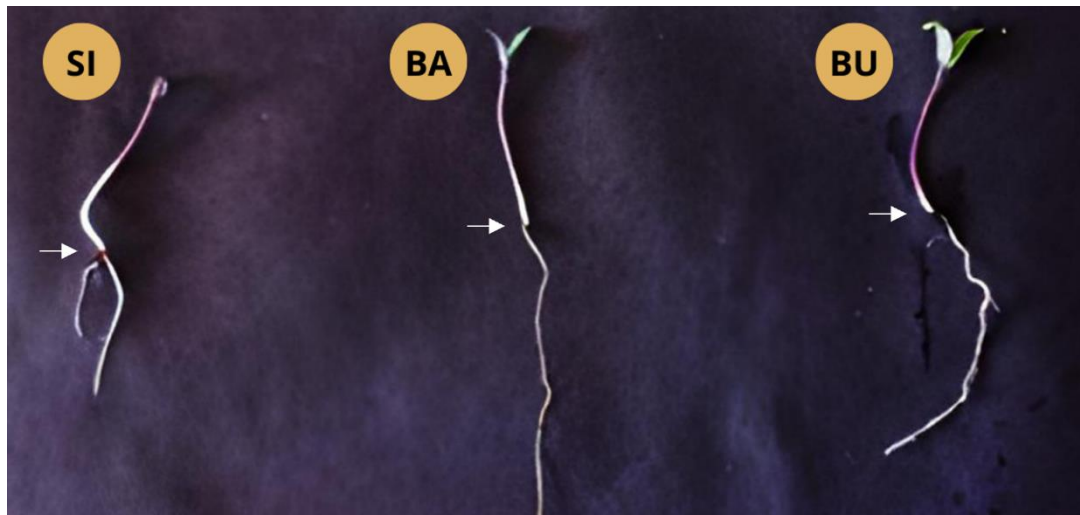


Fig. 4. Comprimento de radícula de plântulas de tomate cereja, sem inoculação (SI), inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA) e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU).

Aos 30 DAS, a inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 produziu mais massa seca e fresca da parte aérea e raiz, bem como maior comprimento de raiz (**Tabela 4**). O volume de raiz aos 30 DAS não foi afetado pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. A altura de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 foi superior ao de plantas inoculadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e de plantas sem inoculação.

Tabela 4. Diâmetro do caule (D30), altura da planta (H30), massa fresca da parte aérea (MFPA30), massa seca da parte aérea (MSPA30), massa fresca da raiz (MFR30), massa seca da raiz (MSR30), comprimento de raiz (CR30), volume de raiz (VR30) e número de folhas das plantas (Nº Folhas 30) aos 30 DAS.

Microbiolização	D30	H30	CR30
	mm		
Sem inoculação	3,47 ± 0,68 a	18,06 ± 2,85 b	9,16 ± 2,81 b
<i>Bacillus subtilis</i>	3,62 ± 0,22 a	19,99 ± 3,28 a	18,84 ± 4,17 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	3,17 ± 0,34 b	16,10 ± 2,89 c	14,38 ± 2,54 a
F.V.	p-values		
Microbiolização	<0,001**	<0,001**	<0,001**
C.V. (%)	10,94	17,90	24,17
Microbiolização	VR30	Nº Folhas 30	MFPA30
	cm ³	g	
Sem inoculação	1,63 ± 0,74 a	4,11 ± 0,64 a	2,07 ± 0,91 b
<i>Bacillus subtilis</i>	2,38 ± 0,38 a	3,89 ± 0,53 ab	4,67 ± 1,28 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	2,25 ± 0,71 a	3,73 ± 0,76 b	4,03 ± 0,55 a
F.V.	p-values		
Microbiolização	0,1832 ^{ns}	<0,001**	<0,001**
C.V. (%)	39,37	16,82	26,93
Microbiolização	MFR30	MSPA30	MSR30
	g		
Sem inoculação	0,52 ± 0,40 b	0,13 ± 0,08 b	0,03 ± 0,03 b
<i>Bacillus subtilis</i>	1,49 ± 0,53 a	0,45 ± 0,12 a	0,10 ± 0,04 a
<i>Burkholderia seminalis</i>	1,38 ± 1,01 ab	0,33 ± 0,11 a	0,07 ± 0,04 ab
F.V.	p-values		
Microbiolização	0,0358*	<0,001**	0,0077**
C.V. (%)	64,17	42,89	54,73

Legenda: **Significativo ao nível de 1% pelo teste de Tukey; ^{ns}Não significativo; F.V.: fonte de variação; C.V.: coeficiente de variação (%).

Conforme observado na **Tabela 4**, *Bacillus subtilis* ATCC 23858 apresentou 18,84 cm de comprimento de raiz, sendo 1,31 vezes superior ao tratamento inoculado com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (14,38 cm) e 2,05 vezes superior ao tratamento sem inoculação (9,16 cm) (**Fig. 5**). A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 em relação ao tratamento sem inoculação aumentou o comprimento de radícula em 1,57 vezes.



Fig. 5. Raízes de mudas de tomate nos tratamentos sem inoculação (SI), inoculado com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU) e *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA).

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi superior em plantas de sementes microbiolizadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 em relação ao tratamento sem inoculação ($P < 0,01$), indicando que as bactérias promovem o aumento da taxa de crescimento com maior acúmulo de biomassa na fase inicial da planta do tomate cereja (**Fig. 6**).

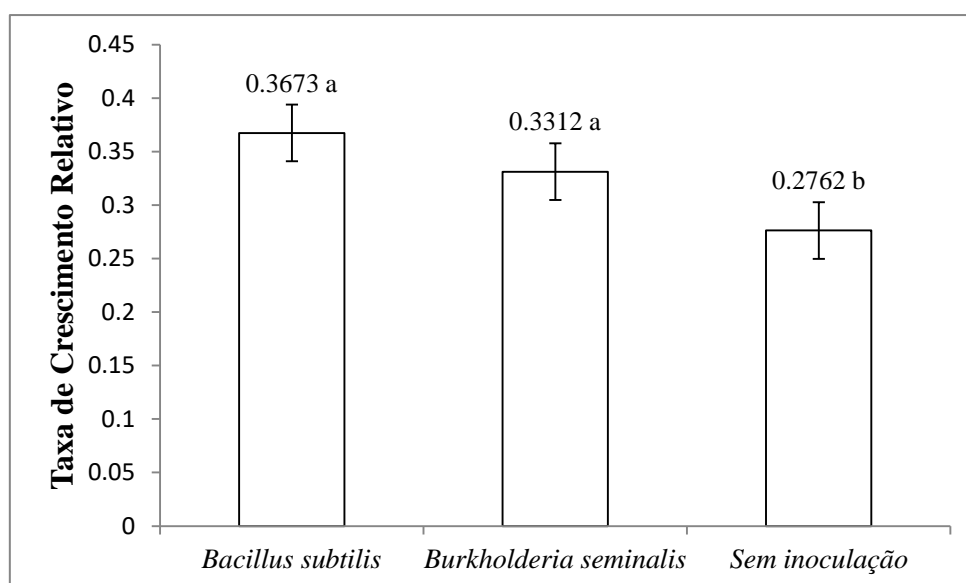


Fig. 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) do tomate cereja sem inoculação e inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3.

Nota: Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Aos 135 DAT, a inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 propiciou maior massa fresca e seca da parte aérea e da raiz, volume e comprimento da raiz ($P < 0,05$), em comparação com as plantas não inoculadas (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro de caule (DC), 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 (VR) e comprimento da raiz (CR) do tomate cereja aos 135 DAT

Variáveis		<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
DC ^{ns}	mm	13,56 a	13,65 a	11,59 a
MFPA*		978,36 a	849,08 a	492,27 b
MSPA*		182,97 a	188,16 a	81,26 b
MFR*	g	167,84 a	176,52 a	55,63 b
MSR*		27,32 a	30,14 a	11,53 b
VR*	cm ³	275,00 a	277,50 a	58,75 b
CR*	cm	58,12 a	58,87 a	21,87 b

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% pelo teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

3.3.2.2 Análises morfológicas, produtividade e qualidade dos frutos

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou a produtividade em relação ao tratamento sem inoculação em 9,56% ($P < 0,05$) e a inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou em 4,30% em relação às plantas sem inoculação (Tabela 6). A produtividade de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC (17,07 t ha⁻¹) mostrou-se superior estatisticamente ao grupo sem inoculação (15,58 t ha⁻¹), enquanto a produtividade de plantas inoculadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (16,25 t ha⁻¹) não diferiu em relação às plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ou de plantas sem inoculação.

Tabela 6. Produtividade (PROD), número de cachos totais por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), número de sementes por fruto (NSF), peso médio de um fruto (Pfmédio), teor de sólidos solúveis (SS), diâmetro longitudinal (Dlong), diâmetro latitudinal (DLat), atividade de água (Aa), pH, acidez titulável (At) e textura de tomate cereja inoculado e sem inoculação.

Variáveis		<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
PROD*	t ha ⁻¹	17,07 a	16,25 ab	15,58 b
NC^{ns}		41,67 a	42,36 a	41,36 a
NFC^{ns}	unitário	6,71 a	6,55 a	5,93 a
NSF^{ns}		41,17 a	43,73 a	42,64 a
Pfmédio^{ns}	g	3,88 a	3,71 a	3,92 a
SS*	°BRIX	8,50 a	8,74 a	7,78 b
Dlat^{ns}		20,71	20,86	20,26
Dlong^{ns}	mm	21,39	20,97	20,46
Aa*	adimensional	0,9863 ab	0,9863 a	0,9820 b
pH^{ns}		4,15 a	4,20 a	4,02 a
At*	mg 100g de ácido cítrico ⁻¹	0,50 ab	0,56 b	0,60 a
Textura	Compressão*	19,78 a	13,94 b	10,79 b
	Punção*	6,33 a	6,65 a	4,88 b

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% pelo teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

O número de cachos por planta, o número de frutos por cacho, o número de sementes por fruto, o peso do fruto, os diâmetros latitudinal e longitudinal não foram influenciados pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ou *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Todavia, os frutos provenientes de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram teor de sólidos solúveis 9,25% e 12,34% maiores em relação aos frutos de plantas sem inoculação, nesta ordem (**Tabela 6**) (P<005).

Os frutos do tratamento sem inoculação apresentaram menor atividade de água (P<0,05) que frutos de plantas inoculadas (**Tabela 6**). Não houve diferença entre pH dos frutos. Frutos do tratamento sem inoculação apresentaram maior acidez titulável em relação aos frutos de plantas inoculadas. Quanto à textura, frutos do tratamento sem inoculação apresentaram menor resistência à compressão e punção em relação aos demais tratamentos. Nesses quesitos, frutos de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 apresentaram maior destaque quanto à resistência de perfuração.

3.3.2.2.3 Análises fisiológicas das plantas

As inoculações com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 não afetou os teores de clorofila a, clorofila b, carotenóides e conteúdo hídrico foliar do tomate cereja (**Tabela 7**) em relação ao tratamento sem inoculação.

Tabela 7. Teores de clorofila “a”, clorofila “b”, carotenoides e conteúdo hídrico foliar (CHF) do tomate cereja inoculado e sem inoculação.

Variáveis	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
Clorofila a ^{ns}	7,57 a	6,63 a	6,54 a
Clorofila b ^{ns} $\mu\text{g g}^{-1}$ planta	4,20 a	3,34 a	3,78 a
Carotenoides ^{ns}	1,60 a	1,40 a	1,64 a
CHF ^{ns} %	33,01 a	35,89 a	31,43 a

Legenda: *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% pelo teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

3.3.2.2.4 Análise de componentes principais

A **Fig. 7** apresenta a análise de componentes principais (CP) das principais respostas do conjunto de variáveis: MFPA, MFR, MSPA, MSR, VR, CR, BRIX, PROD, NC, NFC, Pfmédio, CHF, DC, Dlat, Dlong e NSF, mediante as principais amostras de tipos inoculação (*Bacillus subtilis* ATCC 23858 - *Bacillus subtilis*, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 – *Burkholderia seminalis* e sem inoculação – tratamento controle). O somatório da variância da CP1 com a da CP2 possui uma variância total da ordem de 64,84%, sendo a CP1 a que mais carrega informação e a que mais explica a variabilidade dos dados, com 40,75%. Desse modo, a taxa de explicação das correlações das informações apresentadas corresponde a 64,84% do conjunto total dos dados.

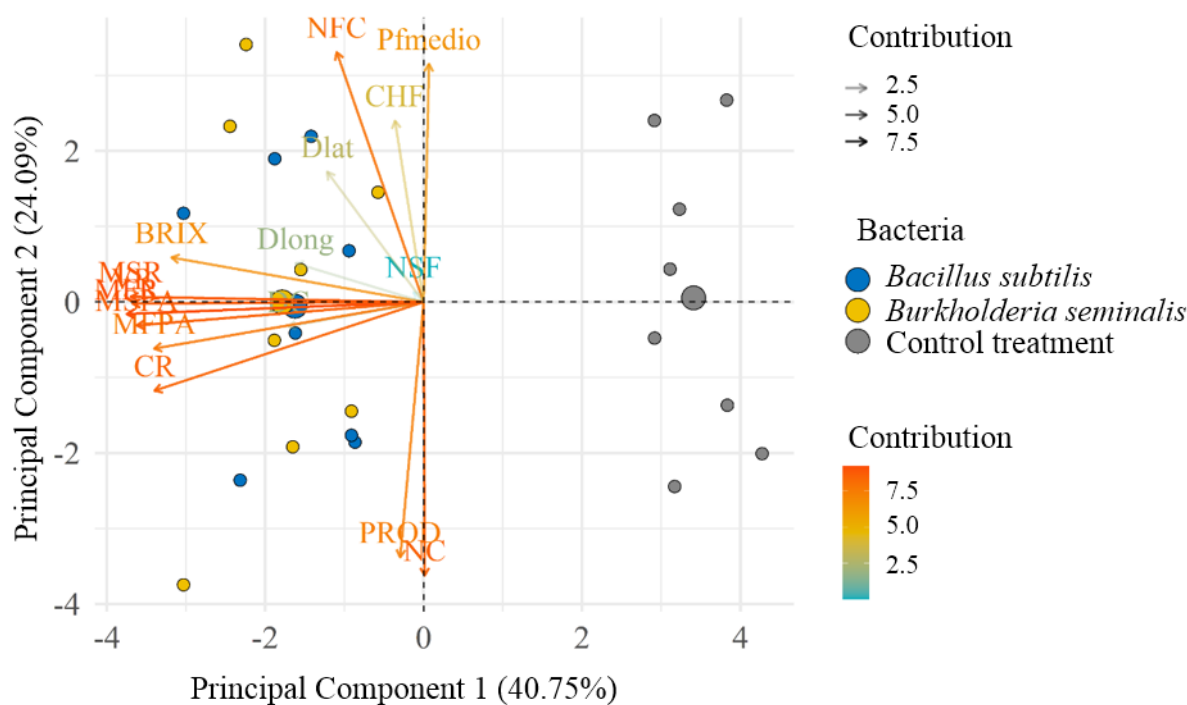


Fig. 7. ACP das principais variáveis em função das inoculações.

Legenda: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), comprimento de raiz (CR), volume de raiz (VR) teor de sólidos solúveis (BRIX), produtividade (PROD), número de cachos por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), peso médio do fruto (Pfmédio), conteúdo hídrico foliar (CHF), diâmetro do colmo (DC), diâmetro latitudinal do fruto (Dlat), diâmetro longitudinal do fruto (Dlong) e número de sementes por fruto (NSF).

De acordo com o gráfico biplot, as variáveis responderam aos tratamentos com inoculação (*Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3). As variáveis Dlong, Dlat, DC e NSF apresentam-se com os menores vetores, se configurando como as variáveis menos importantes. Ou seja, sem estas não existe perda significativa de informação na presente análise. De modo que, as variáveis com os maiores vetores dominam a análise (**Fig. 7**).

As variáveis NFC e Pfmédio estão fortemente correlacionadas negativamente com as variáveis PROD e NC. A variável PROD apresentou uma correlação positiva forte com NC. Já as variáveis MFPA, MFR, MSPA, MSR, VR, CR, BRIX e CHF

destacaram-se por apresentarem os maiores vetores, significativamente correlacionadas, onde as amostras inoculadas possuem os maiores valores destas variáveis (Fig. 7).

3.4. Discussão

3.4.1 Ensaios Laboratoriais

3.4.1.1 Antagonismo in vitro

Conforme observado na Figura 3-B, o teste de antibiose por difusão em Meio de Cultura revelou o antagonismo entre *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e *Bacillus subtilis* ATCC 23858, ou seja, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 inibe o crescimento de *Bacillus subtilis* ATCC 23858. Isto embasou a definição dos tratamentos que foram estudados no presente trabalho, inoculando-se *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e *Bacillus subtilis* ATCC 23858 isoladamente e não em consórcio. Contudo, não há estudos que relatem a capacidade de linhagens do gênero *Bacillus* inibirem o crescimento de *Burkholderia seminalis* e vice-versa.

Burkholderia seminalis TC3.4.2R3, embora tenha inibido o crescimento de *Bacillus subtilis* ATCC 23858, não é uma bactéria patogênica, conforme descrito por Gonçalves et al. (2019). Neste estudo, foi testado esta bactéria em larvas de *Galleria mellonella* e em camundongos, demonstrando que não foi patogênica. Isto justifica o seu potencial para uso lavouras.

3.4.1.2 Germinação de sementes de tomate in vitro

A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e *Bacillus subtilis* ATCC 23858 promoveram aumento na taxa de germinação de tomate cereja. A germinação das sementes depende da viabilidade do embrião e da quebra da dormência gerada pelas condições ambientais (Luna-Martínez et al., 2013). Bactérias promotoras do crescimento de plantas podem influenciar na quebra de dormência, pois a redução dos

níveis de etileno, devido à atividade da enzima ACC desaminase das bactérias presentes na semente, aumenta a germinação, juntamente com a produção de ácido indol-3-acético (AIA), que estimula a divisão celular para promover o crescimento do embrião (Glick et al., 2007; Jalili et al., 2009). A germinação de sementes também está diretamente relacionada à produção de ácido abscísico (ABA), etileno, giberelinas, auxinas e citocininas (Miransari e Smith, 2014). Estes compostos são produzidos por bactérias do gênero *Bacillus* (Wagi e Ahmed, 2019).

Cendales et al. (2017) estudando o efeito da inoculação de *Bacillus subtilis* linhagem GIBI 200 na germinação de sementes de tomate cereja, demonstraram que não houve diferença estatística significativa entre a porcentagem de germinação de sementes inoculadas (86,7%) e não inoculadas (80%). No entanto, foi observado alta mortalidade de plântulas do tratamento não inoculado (51,6%), enquanto a mortalidade de plântulas do tratamento inoculado foi baixa (6,6%), indicando que a inoculação com *Bacillus subtilis* linhagem GIBI 200 reduziu consideravelmente a mortalidade das plântulas.

Recentemente, Kumar et al. (2020) estudando o potencial de rizobactérias, *Burkholderia gladioli* (MTCC 10216), *Pseudomonas* sp. (MTCC 9002) e *Bacillus subtilis* (MTCC 8528), em promover o crescimento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) e feno-grego (*Trigonella foenum-graecum* L.), isoladamente e em consórcio, demonstraram que a inoculação de sementes de tomate com *Burkholderia gladioli* e *Bacillus subtilis* aumentaram a taxa de germinação em relação ao tratamento controle (sem inoculação). Contudo, a associação entre as bactérias aumentou a taxa de germinação, o que os autores associam à produção de AIA. Tripti et al. (2017) investigaram o potencial da utilização de resíduos agrícolas e industriais como materiais de veículo, i.e. biochar e cinzas, respectivamente, para a preparação de bioinsumos utilizando duas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas, *Bacillus* sp.

linhagem A30 e *Burkholderia* sp. linhagem L2 (10^{10} UFC mL⁻¹), no crescimento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Os autores demonstraram que a porcentagem e a taxa de germinação aumentaram significativamente, quando as sementes foram tratadas com as bioformulações comparadas ao controle sem as bioformulações. O maior incremento na germinação das sementes, quando comparado ao controle, foi observado sob ambas as bioformulações preparadas utilizando i) cinza+*Burkholderia* sp. linhagem L2 e ii) biochar+*Burkholderia* sp. linhagem L2. No entanto, a taxa de germinação foi maior quando as sementes foram tratadas com a bioformulação biochar+*Burkholderia* sp. linhagem L2.

A espécie bacteriana *Burkholderia seminalis* mostrou-se capaz de produzir ácido indolacético (AIA), que é uma auxina - um hormônio de crescimento que promove o alongamento celular diferencial e funciona como regulador do crescimento, aumentando o crescimento do tomateiro (Tallapragada et al., 2015).

3.4.2 Cultivo em casa de vegetação

3.4.2.1 Preparo e plantio das mudas e Manejo experimental

O índice de velocidade de emergência (IVE) das sementes inoculadas com *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* demonstram que a inoculação promove o crescimento do tomate, acelerando a emergência das plântulas, em relação ao tratamento sem inoculação.

Diferentes autores têm demonstrado que a microbiolização das sementes possibilita aumento do vigor da semente e, conseqüentemente, o vigor de plântulas, além de acelerar a emergência das plântulas, devido à produção de fitormônios (e.g. auxinas, giberelinas e citocininas) (Ibanhes Neto et al., 2021; Junges et al., 2016).

3.4.2.2 Análises experimentais

3.4.2.2.1 Análises morfológicas das plantas

O crescimento inicial de tomate cereja foram aumentadas pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. O uso destas bactérias na cultura do tomate cereja resultou em incrementos significativos para massa fresca e seca das plantas, bem como no comprimento da raiz, demonstrando o potencial do uso de BPCP nas condições do estudo.

A inoculação das sementes com os microrganismos promoveu o crescimento de plântulas com maior comprimento da radícula e produção de massa seca ($P < 0,01$), conforme observado na Tabela 3. Cendales et al. (2017) verificaram que a linhagem *Bacillus subtilis* GIBI 200 promove o crescimento de mudas de tomateiro com 37 dias de idade, promovendo aumentos significativos no comprimento e massa fresca de caule e raiz ($p < 0,05$). Os resultados são semelhantes aos descritos por outros autores que também demonstraram o efeito positivo da inoculação de linhagens de *Bacillus* sobre o crescimento de plantas de tomate (Lagunas-Lagunas et al., 2001; Luna Martinez et al., 2013).

A inoculação de microrganismos promotores do crescimento de plantas, em especial do gênero *Bacillus* e *Burkholderia*, auxiliam na germinação das sementes, promovendo o crescimento de radícula, induzindo a formação de pelos radiculares, aumentando o número de raízes laterais e adventícias (Romagna et al., 2019), aumentando o volume e a área superficial das raízes (Tallapragada et al., 2015), aumentando a altura das plantas, a produção de massa fresca e seca de raiz e parte aérea do tomate (Tripti et al., 2017; Kumar et al., 2020).

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ou *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 promovem o aumento da taxa de crescimento com maior acúmulo de

biomassa na fase inicial da planta do tomate cereja (**Fig. 6**), ressaltando que o uso de bioestimulantes em sementes é capaz de promover melhorias na germinação e emergência, bem como promover maior vigor e crescimento vegetal. Contudo, os mecanismos envolvidos nestas etapas e o seu envolvimento com a planta (genoma, atividade enzimática, entre outros) ainda precisam ser identificados (Silva et al., 2021).

As plantas inoculadas tiveram incrementos no desenvolvimento da raiz e caule aos 135 DAT. A inoculação com *Bacillus subtilis* promoveu efeitos significativos no comprimento e peso fresco de caules e raízes em mudas de tomate (Cendales et al., 2017) e no tomate cereja Cherry 261, a inoculação com *Bacillus amyloliquefaciens*, uma outra linhagem com potencial de atuar como BPCP, melhorou as variáveis relacionadas ao sistema radicular, como aumento do volume, comprimento, peso fresco e peso seco das raízes (Szilagyi-Zechin et al., 2022).

O aumento do crescimento do tomateiro pode estar associado à capacidade de *Bacillus subtilis* em produzir AIA e solubilizar o fosfato, além da produção de outras substâncias (Asari et al., 2016; Borriss, 2016; Asari et al., 2017; Rabbee et al., 2019; Rabbee e Baek, 2020). Adicionalmente, estas bactérias podem promover o crescimento das plantas de tomate e demonstrar atividade antagônica ao fungo *Alternaria solani* devido à produção de ácido cianídrico e compostos orgânicos voláteis, além das enzimas quitinase e glucanase e antioxidantes como peroxidase e polifenol oxidase (Babu et al., 2015). Auxinas purificadas produzidas por *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* foram capazes de influenciar no crescimento de plantas de tomate, resultando em aumento de 20% no crescimento das raízes, caule e folhas (Lim e Kim, 2009).

O gênero *Burkholderia* abriga bactérias que podem beneficiar as plantas a partir da sua simbiose com a raiz. Estes microrganismos auxiliam na fixação biológica de

nitrogênio atmosférico, solubilização do fosfato, degradação de compostos químicos presentes no solo e produzem AIA (Compant et al., 2010; Luvizotto et al., 2010; Dourado et al., 2013; Tallapragada et al., 2015). Os isolados *Burkholderia vietnamiensis* ZoB74 e *Burkholderia* sp. ZoB82 aumentaram os parâmetros de crescimento de plantas de *Capsicum frutescens* (Sabu et al., 2019), outra Solanaceae. A inoculação com *Burkholderia gladioli* e *Bacillus subtilis* resultou em plantas de tomate mais altas e com maiores índices de massa seca de raiz e de parte aérea (Kumar et al., 2020). Além disso, em plantas de tomate, *Burkholderia* se mostrou eficiente na capacidade de fixar nitrogênio (Mellado et al., 2007).

Contudo, é necessário ressaltar que a inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 já mostrou capaz de promover maior desenvolvimento de raiz desde os 15 DAS, enquanto a inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 foi um pouco mais tardia, promovendo maior desenvolvimento da raiz a partir dos 30 DAS. Entretanto, estes efeitos foram prolongados e estendendo-se até os 135 DAT.

3.4.2.2 Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos

As plantas tratadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 obtiveram maior produtividade em relação às plantas sem inoculação, resultado que corrobora com outros trabalhos. A cultivar de tomate Río Fuego alcançou produtividade em torno de 23% maior, por planta, quando inoculada com *Bacillus subtilis* BEB-ISbs (Mena-Violante e Olalde-Portugal, 2007). Tomateiros inoculados com *Bacillus amyloliquefaciens* obtiveram incrementos na produtividade de cerca de 12%, devido ao aumento do número de frutos por planta e do calibre do fruto (Szilagyi-Zechin, 2016). Além disso, a inoculação com linhagens de *Bacillus velezensis* (10^8 UFC/ml) aumentou a produtividade do tomateiro em 38% em relação ao tratamento controle (Balderas-Ruíz et al., 2021). Apesar do incremento nas variáveis de crescimento, as plantas inoculadas

com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 , não produziram mais frutos do que as plantas sem inoculação. Diferentemente, *Burkholderia seminalis* linhagem 869T2 aumentou a produção de flores e frutas na pimenta (Hwang et al., 2021). Além disso, esta mesma linhagem melhorou a qualidade de alface e repolho a partir do aumento de peso da cabeça colhida, tamanho, composição de nutrientes além de maior acumulação de açúcar solúvel (Hung et al., 2023).

O aumento da produtividade do tomateiro está associado aos teores de clorofila das plantas, que permitem maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa em folhas e raízes, resultando em plantas mais produtivas (Pishchik et al., 2018; He et al., 2019). Embora tenha sido evidenciado aumento nos parâmetros de rendimento, não foi possível verificar diferença nos teores de clorofila no presente estudo.

O número de frutos por cacho não foi afetado pelas inoculações com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Diferentemente, plantas inoculadas com um mix de BPCP (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis*), as quais produziram maior número de frutos por planta em comparação com tomateiros que não foram inoculados sob sistema hidropônico (Aini et al., 2019).

O teor de sólidos solúveis (°BRIX) foi superior em plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. O aumento no teor de sólidos solúveis foi relatado por Aini et al. (2019) nos frutos de plantas inoculadas com uma combinação de BPCPs (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis*). Diferentemente, outro trabalho relatou que a inoculação de tomate cereja com o gênero *Bacillus* não influenciou no BRIX dos frutos (Osa et al., 2021).

Os frutos de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 foram mais resistentes à perfuração do que os demais. Este aumento na firmeza é uma característica importante, uma vez que está intimamente relacionada à qualidade dos frutos e tempo de prateleira. A textura é um dos atributos de qualidade mais importantes para o tomate de mesa (Liu et al., 2009).

3.4.2.2.3 Análises fisiológicas das plantas

Não foram observadas diferenças nos níveis de clorofila a e b e carotenóides entre as plantas com e sem inoculação. O teor carotenóides e de clorofila a e b no tomate cereja da cultivar Cherry 261 e Santa Clara 230 não foi afetado pela inoculação com *Bacillus amyloliquefaciens* (Szilagyi-Zechin et al., 2022).

3.4.2.2.4 Análise de componentes principais

Observando a **Fig. 7** é possível estabelecer que a ACP está de acordo com critério estabelecido por Kaiser (1958), em que os autovalores são superiores a 1, para que as componentes tenham carga significativa de informação, de modo que sejam atendidos nos componentes principais 1 e 2.

A variância total da ACP (CP1 + CP2) foi de ordem de 64,84%. Jardim et al. (2020) e Jardim et al. (2021) ressaltam que valores acumulados acima de 60% são bastante expressivos e que a ACP é de grande importância para compreender as características morfométricas e de rendimento da cultura, tais como MFPA, MFR, MSPA, MSR, CR e VR. Para este tipo de variável na cultura do tomate cereja, Rapa et al. (2021) e Silva et al. (2023) encontraram valores acumulados próximos a 70% e 63%, respectivamente.

Há uma forte correlação negativa existente entre as variáveis NFC e P_fmedio com as variáveis PROD e NC (**Fig. 7**). Isto pode ser explicado devido ao menor peso médio de frutos provenientes de cachos com maior número de frutos. Um maior número de

cachos, com menos frutos, resultou em frutos mais pesados e, conseqüentemente, maior produtividade.

A correlação forte e positiva entre os teores de MFPA, MFR, MSPA, MSR, VR e CR apresentada na ACP (**Fig. 7**) estão intimamente relacionadas, visto que quanto maior a massa fresca de um material maior será a sua massa seca. Estes resultados refletiram positivamente no tamanho da raiz (volume e comprimento).

3.5. Conclusões

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 promove o aumento da taxa de germinação e o índice de velocidade de emergência.

Estas cepas trazem incrementos significativos para massa fresca e seca das plantas, bem como no comprimento e no volume da raiz. *Bacillus subtilis* ATCC 23858 já mostrou efeitos aos 15 DAS para comprimento da raiz e MSR. Esse efeito foi mantido ao longo de todo o experimento. *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 teve um efeito mais tardio, aos 30 DAS.

A produtividade do tomate cereja, assim como a qualidade dos frutos, foram melhoradas com a inoculação de *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, em relação às plantas sem inoculação.

A ACP confirmou que as variáveis estudadas responderam aos tratamentos com inoculação.

Os resultados deste estudo demonstraram que ambas as BPCP utilizadas possuem potencial biotecnológico para serem utilizadas como bioinoculantes na cultura do tomate cereja, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e economicamente viável.

3.6. Referências Bibliográficas

- Agbna, G. H., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N. A., Guangcheng, S., & Timm, L. C. (2017). Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*, 222, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>
- Aini, N., Dwi Yamika, W. S., & Pahlevi, R. W. (2019). The effect of nutrient concentration and inoculation of PGPR and AMF on the yield and fruit quality of hydroponic cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. *cerasiforme*). *Journal of Applied Horticulture*, 21(2).
- Aizawa, T., Vijarnsorn, P., Nakajima, M., & Sunairi, M. (2011). *Burkholderia bannensis* sp. nov., an acid-neutralizing bacterium isolated from torpedo grass (*Panicum repens*) growing in highly acidic swamps. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 61(7), 1645-1650. doi: 10.1099/ijs.0.026278-0.
- Alcantara, H. P. De, & Porto, F. G. M. (2019). Influência de fertilizante foliar com aminoácidos na cultura do jiló. *Brazilian Journal of Development*, 5(6), 5554–5563.
- AOAC (1998) Official Method of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Araújo, F. D. da S., Araújo, W. L., & Eberlin, M. N. (2017). Potential of *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 as Biocontrol Agent Against *Fusarium oxysporum* Evaluated by Mass Spectrometry Imaging. *Journal of The American Society for Mass Spectrometry*, 28(5), 901–907. doi:10.1007/s13361-017-1610-6.
- Araújo, W. L., Creason, A. L., Mano, E. T., Camargo-Neves, A. A., Minami, S. N., Chang, J. H., & Loper, J. E. (2016). Genome sequencing and transposon mutagenesis of *Burkholderia seminalis* TC3. 4.2 R3 identify genes contributing to suppression of orchid necrosis caused by *B. gladioli*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 29(6), 435-446.
- Araújo, W. L., Maccheroni Junior, W., Aguilarvildoso, C. I., Barroso, P. A. V., Saridakis, H. O., Azevedo, J. L.(2001). Variability and interactions between endophytic bacteria and fungi isolated from leaf tissues of citrus rootstocks. *Canadian Journal of Microbiology*, 47:229-236.
- Asari, S., Matzén, S., Petersen, M. A., Bejai, S., & Meijer, J. (2016). Multiple effects of *Bacillus amyloliquefaciens* volatile compounds: plant growth promotion and growth inhibition of phytopathogens. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(6), fiw070. Doi: 10.1093/femsec/fiw070.
- Asari, S., Tarkowská, D., Rolčík, J., Novák, O., Palmero, D. V., Bejai, S., & Meijer, J. (2017). Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant. *Planta*, 245, 15-30. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2580-9>.
- Babu, A. N., Jogaiah, S., Ito, S. I., Nagaraj, A. K., & Tran, L. S. P. (2015). Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. *Plant Science*, 231, 62-73.
- Balderas-Ruiz, K. A., Gómez-Guerrero, C. I., Trujillo-Roldán, M. A., Valdez-Cruz, N. A., Aranda-Ocampo, S., Juárez, A. M., & Serrano-Carreón, L. (2021). *Bacillus velezensis* 83 increases productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Pre and postharvest assessment. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100076.
- Basso, S. M. S. (1999). Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. E *Lotus* L. 1999. 268 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., El Enshasy, H., (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, conlinalgemts, and prospects. *Sustainability*, 13, 1140.
- Berg, G. (2009). Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied microbiology and biotechnology*, 84, 11-18.
- Borges, B.M.M.N., Modesto, V.C., Prado, R.M., Silva, E.S., Braos, B.B. (2011). Métodos de determinação da matéria seca e dos teores de macronutrientes em folhas de alface. *Revista Trópica*, 5, 12-16.
- Borriss, R., (2016). Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C., Aeron, A. (Eds.), *Bacilli and Agrobiotechnology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_8.
- Brasil. (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes.
- Campos, H.M., Oliveira, H.F.E., Mesquita, M., Castro, L.E.V., Ferrarezi, R.S. (2021). Low-cost open-source platform for irrigation automation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 0168-

1699. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106481>.
- Cardoso, F. B. Martinez, H. E. P., Silva, D. J. H. D., Milagres, C. D. C., & Barbosa, J. G. (2018). Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48, 340-349
- Casaroli, D., & De Jong van Lier, Q. (2008). Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32, 59–66.
- Cendales, T. C., Rodríguez-González, C. A., Villota-Cuásquer, C. P., Tapasco-Alzate, O. A., Hernández-Rodríguez, A. (2017). Bacillus effect on the germination and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L). *Acta Biológica Colombiana*, 22(1): 37-44
- Chandra, P., Wunnava, A., Verma, P., Chandra, A., & Sharma, R. K. (2021). Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: a review. *Pedosphere*, 31(3), 496-509.
- Chojnacka, K. (2015). Innovative bio-products for agriculture. *Open Chemistry*, 13(1), 000010151520150111.
- Cobos, D. R., & Chambers, C. (2010). Calibrating ECH2O soil moisture sensors. Application note, Decagon Devices Inc.: Pullman, WA, USA, 2010. Disponível em: <<http://www.decagon.com/assets/Uploads/13393-04-CalibratingECH2OSoilMoistureProbes.pdf>>. Acesso em: 10 de junho de 2021.
- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669-678. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017.
- Dourado, M. N., Martins, P. F., Quecine, M. C., Piotto, F. A., Souza, L. A., Franco, M. R., & Azevedo, R. A. (2013). *Burkholderia* sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. *Annals of Applied Biology*, 163(3), 494-507.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Glick, B. R., Cheng, Z., Czarny, J., & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 329-339.
- Gonçalves, P. J. R. de O., Hume, C. C. D., Ferreira, A. J., Tsui, S., Brocchi, M., Wren, B. W., & Araujo, W. L. (2019). Environmental interactions are regulated by temperature in *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. *Scientific Reports*, 9(1). doi:10.1038/s41598-019-41778-x
- Goswami, M.; & Deka, S. (2020). Isolation of a novel rhizobacteria having multiple plant growth promoting traits and antifungal activity against certain phytopathogens. *Microbiological Research*, 240, 126516.
- He, Y., Pantigoso, H., Wu, Z., Vivanco, J. (2019). Co-inoculation of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas putida* at different development stages acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of tomato. *J. Appl. Microbiol.* 127, 196–207. <https://doi.org/10.1111/jam.14273>.
- Hung, S. H. W., Huang, T. C., Lai, Y. C., Wu, I. C., Liu, C. H., Huarng, Y. F., & Huang, C. C. (2023). Endophytic Biostimulants for Smart Agriculture: *Burkholderia seminalis* 869T2 benefits heading leafy vegetable in-field management in Taiwan. *Agronomy*, 13(4), 967.
- Hwang, H. H., Chien, P. R., Huang, F. C., Hung, S. H., Kuo, C. H., Deng, W. L., & Huang, C. C. (2021). A plant endophytic bacterium, *Burkholderia seminalis* linhagem 869T2, promotes plant growth in *Arabidopsis*, pak choi, Chinese amaranth, lettuces, and other vegetables. *Microorganisms*, 9(8), 1703.
- Ibanhes Neto, H. F., Silva, A. C. D., Sumida, C. H., Gouveia, M. D. S., Pellizzaro, V., & Takahashi, L. S. A. (2021). Physiological potential of green bean seeds treated with *Bacillus subtilis*. *Journal of Seed Science*, 43, 1–12, e202143016.
- Jalili, F., Khavazi, K., Pazira, E., Nejati, A., Rahmani, H. A., Sadaghiani, H. R., Miransari, M. (2009). Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent pseudomonads, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. *Journal of Plant Physiology*, 166(6), 667-674. Doi:10.1007/s11103-008-9435-0
- Jardim, A.M.R.F., Silva, M.V., Silva, A.R., Santos, A., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J.F., Lima, J.L.M.P., Souza, L.S.B., Araújo Júnior, G.N., Lopes, P.M.O., Moura, G.B.A., Silva, T.G.F. (2021). Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 223: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733>
- Jardim, A.M.R.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Souza, M.S., Morais, J.E.F., Júnior, A.G.N. (2020) Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Rev Bras Engenharia Agríc Ambient*, 24,756-761. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p756-761>
- Junges, E., Brião Muniz, M. F., Bastos, B. D. O., & Oruoski, P. (2016). Biopriming in bean seeds. *Acta*

- Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, 66(3), 207-214.
- Kaiser, H.F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23: 187–200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.
- Khatoun, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A., & Santoyo, G. (2020). Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *Journal of Environmental Management*, 273, 111118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>.
- Kumar, P., Aeron, A., Shaw, N., Singh, A., Bajpai, V. K., Pant, S., & Dubey, R. C. (2020). Seed bio-priming with tri-species consortia of phosphate solubilizing rhizobacteria (PSR) and its effect on plant growth promotion. *Heliyon*, 6(12).
- Lagunas-Lagunas, J., Zavaleta, E., Osada, S., Aranda, S., Luna, I., & Vaquera, H. (2001). *Bacillus firmus* como agente de control biológico de *Phytophthora capsici* Leo. en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 19(1), 57-65.
- Lim, J. H., & Kim, S. D. (2009). Synergistic plant growth promotion by the indigenous auxins-producing PGPR *Bacillus subtilis* AH18 and *Bacillus* licheniformis K11. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 52, 531-538.
- Liu, L. H., Zabarás, D., Bennett, L. E., Aguas, P., & Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115(2), 495-500.
- Luna-Martínez, L., Martínez Peniche, R. A., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, S. M., & Pacheco Aguilar, J. R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 63-69.
- Luvizotto, D. M., Marcon, J., Andreote, F. D., Dini-Andreote, F., Neves, A. A., Araújo, W. L., & Pizzirani-Kleiner, A. A. (2010). Genetic diversity and plant-growth related features of *Burkholderia* spp. from sugarcane roots. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, 1829-1836.
- Magalhães, A. C. N. (1985). Análise quantitativa do crescimento. In: Ferri, M. G. *Fisiologia vegetal*. São Paulo: EPU, 331-350.
- Martínez-Aguilar L., Salazar-Salazar C., Méndez R. D., Caballero-Mellado J., Hirsch A. M., Vásquez-Murrieta M. S., & Estrada-de los Santos P. (2013). *Burkholderia caballeronis* sp. nov., a nitrogen fixing species isolated from tomato (*Lycopersicon esculentum*) with the ability to effectively nodulate *Phaseolus vulgaris*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 104(6), 1063-1071. doi: 10.1007/s10482-013-0028-9
- Mellado, J. C., Onofre-Lemus, J., Estrada-De Los Santos, P., & Martínez-Aguilar, L. (2007). The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Applied and environmental microbiology*, 73(16), 5308-5319.
- Mena-Violante, H. G., & Olalde-Portugal, V. (2007). Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 103-106.
- Miransari, M. and Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>.
- Ongena M., & Jacques, P. (2008). *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends in Microbiology*, 16, 115-125.
- Osa, C., Rodríguez-Carvajal, M. Á., Gandullo, J., Aranda, C., Megías, M., Ollero, F. J., & Monreal, J. A. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria modulate the concentration of bioactive compounds in tomato fruits. *Separations*, 8(11), 223.
- Panhwar, Q. A., Shamshuddin, J., Naher, U. A., Radziah, O., & Razi, I. M. (2014). Biochemical and molecular characterization of potential phosphate-solubilizing bacteria in acid sulfate soils and their beneficial effects on rice growth. *PLoS One*, 9(10).
- Paungfoo-Lonhienne, C., Lonhienne, T. G., Yeoh, Y. K., Webb, R. I., Lakshmanan, P., Chan, C. X., Lim, P. E., Ragan, M. A., Schmidt, S., & Hugenholtz P. (2014). A new species of *Burkholderia* isolated from sugarcane roots promotes plant growth. *Microbial Biotechnology*. 7(2), 142-54. doi: 10.1111/1751-7915.12105.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 11(5), 1633-1644.
- Perin, L., Martínez-Aguilar, L., Castro-Gonzalez, R., Estrada-de los Santos P, Cabellos-Avelar, T., Guedes, H. V., Reis, V. M., & Caballero-Mellado, J. (2006) Diazotrophic *Burkholderia* species associated with field-grown maize and sugarcane. *Applied and environmental microbiology*, 72(5), 3103–3110
- Pishchik, V. N., Vorobyev, N. I., Ostankova, Y. V., Semenov, A. V., Totolian, A. A, Popov, A. A., Khomyakov, Y. V., Udalova, O. R., Shibanov, D. V., Vertebny, V. E., Dubovitskaya, V. I.,

- Sviridova, O. V., Walsh, O. S., Shafian, S. (2018). Impact of *Bacillus subtilis* on tomato plants growth and some biochemical characteristics under combined application with humic fertilizer. *Int. J. Plant Soil Sci.* 22, 1–12. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2018/41148>.
- Popinigis, F. (1985). *Fisiologia da Semente*. 2.ed. Brasília - DF: Mississipi State University, 289 p.
- R Core Team (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Rabbee, F.M., Baek, K.H. (2020). Antimicrobial activities of lipopeptides and polyketides of *Bacillus velezensis* for agricultural applications. *Molecules*, 25(21), 4973. <https://doi.org/10.3390/molecules25214973>.
- Rabbee, M. F., Ali, M. S., Choi, J., Hwang, B. S., Jeong, S. C., Baek, K. H. (2019). *Bacillus velezensis*: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. *Molecules*, 24(6), 1046. <https://doi.org/10.3390/molecules24061046>.
- Rapa, M., Ciano, S., Ruggieri, R., Vinci, G. (2021) Bioactive compounds in cherry tomatoes (*Solanum Lycopersicum* var. *Cerasiforme*): cultivation techniques classification by multivariate analysis. *Food Chem*, 355. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129630>
- Romagna, I. S., Junges, E., Karsburg, P., & Pinto, S. D. Q. (2019). Bioestimulantes em sementes de olerícolas submetidos a testes de germinação e vigor. *Scientia Plena*, 15(10).
- Romero, R. S. (2005) *Bactérias fitopatogênicas*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 417p.
- Rouphael, Y.; Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9,1655
- Sabu, R., Aswani, R., Nidheesh, K. S., Ray, J. G., Remakanthan, A., & Radhakrishnan, E. K. (2019). Beneficial Changes in *Capsicum frutescens* Due to Priming by Plant Probiotic *Burkholderia* spp. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 11, 519-525.
- Silva, M. B. P., Silva, V. N., Vieira, & L. C. (2021). Biopriming of sweet pepper and tomato seeds with *Ascophyllum nodosum*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1), 9423–9430.
- Silva, P.C., Ferreira, A.F.A., Araújo, E.S., Bessa Neto, J. V., Costa, A. R., Fernandes, L. S., Martins, A. A. S., Cândido, R. S., Jardim, A. M. R. F., Pandorfi, H., Silva, M. V. (2023). Cherry Tomato Crop Management Under Irrigation Levels: Morphometric Characteristics and Their Relationship with Fruit Production and Quality. *Gesunde Pflanzen* 75, 1277–1288. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00770-8>
- Smart, R. E., Bingham, G. E. (1974). Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiol.*, 53:258-260.
- Szilagy-Zechin, V. J. (2016). *Uso da bactéria promotora do crescimento vegetal, Bacillus Amyloliquefaciens subsp. plantarum fzb42, no tomateiro em cultivo orgânico (Tese de Doutorado)*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Szilagy-Zechin, V. J., Ikeda, A. C., & Mógor, Á. F. (2022). Alteraciones bioquímicas y de desarrollo de dos cultivares de tomate bajo la inoculación de diferentes dosis de *Bacillus* spp. *Idesia (Arica)*, 40(1), 59-66.
- Tallapragada, P., Dikshit, R., & Seshagiri, S. (2015). Isolation and optimization of IAA producing *Burkholderia seminalis* and its effect on seedlings of tomato. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 37(5).
- Tripti, A. Kumar, Z. Usmani, V. Kumar and Anshumali (2017). Biochar and flyash inoculated with plant growth promoting rhizobacteria act as potential biofertilizer for luxuriant growth and yield of tomato plant. *Journal of Environmental Management*, 190, 20-27.
- Wagi, S., Ahmed, A. (2019). Green production of AgNPs and their phytostimulatory impact. *Green Process. Synth.* 8, 885–894.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology*, 144(3), 307-313.
- Yang, J., Kloepper, J. W., & Ryu, C. M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in plant science*, 14(1), 1-4. [Doi: 10.1016/j.tplants.2008.10.004](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004).
- Zulfiqar, F., Akram, N. A., and Ashraf, M. (2020). Osmoprotection in plants under abiotic stresses: new insights into a classical phenomenon. *Planta*, 251(3). [doi: 10.1007/s00425-019-03293-1](https://doi.org/10.1007/s00425-019-03293-1).

4. CAPÍTULO II

(Normas da revista *International Journal of Molecular Sciences*)

Inoculação de bactérias promotoras de crescimento *Bacillus subtilis* e *Burkholderia seminalis* e déficit hídrico induzido na cultura do tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.)

Resumo: Estratégias de manejo têm sido desenvolvidas com o intuito de mitigar, nas plantas, os efeitos do déficit hídrico. Como estratégia, o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) na agricultura tem se destacado, pois atuam simbioticamente com as plantas promovendo o crescimento destas. Neste sentido o presente estudo objetivou avaliar os efeitos da inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 sobre as características morfológicas das plantas, atributos tecnológicos dos frutos e produtividade do tomate cereja comum submetido a déficit hídrico induzido. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, analisado em esquema de parcelas divididas 4x3, sendo quatro níveis de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)) e três tipos de inoculação (i. *Bacillus subtilis* ATCC 23858; ii. *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 ; iii. sem inoculação). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,01$ e $P < 0,05$). Para concluir a análise, também foi utilizada a estatística multivariada, a partir da análise de componentes principais (ACP). A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou teores de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz e volume de raiz. A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou os teores de carotenoides e de clorofila b. Ambas as inoculações aumentaram o conteúdo hídrico foliar nas plantas com déficit hídrico mais acentuado (40% ETc). O uso das cepas como BPCP não afetou a qualidade de frutos, exceto pelo teor de sólidos solúveis. Frutos provenientes de plantas inoculadas ficaram mais leves, porém com maior número de frutos por cacho, acarretando maior produtividade. Os maiores níveis de reposição hídrica promoveram maior produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: bioinoculante; *Bacillus subtilis*; *Burkholderia seminalis*; solanáceas; *Solanum lycopersicum*; irrigação deficitária

4.1. Introdução

A produtividade das lavouras pode ser afetada por estressores abióticos como a salinidade e a deficiência hídrica [1]. Algumas culturas são mais susceptíveis a alterações anatômicas, fisiológicas e produtivas quando submetidas a estes estressores [2].

Em situações de estresse hídrico, as plantas podem sofrer degradação da clorofila [3], resultando na redução da eficiência fotossintética, menor acúmulo de biomassa pela planta, menor potencial de água na folha e na pressão de turgescência, com consequente fechamento estomático [4].

O déficit hídrico ocorre quando a disponibilidade de água no solo diminui, geralmente advinda da evapotranspiração devido a altas temperaturas [5]. O déficit estressa a planta, altera suas propriedades bioquímicas e moleculares, acarretam crescimento atrofiado das plantas e baixo rendimento [6].

Para minimizar os impactos causados pelo déficit hídrico, pode-se realizar a inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas, visto que este grupo de micro-organismos é capaz de colonizar a rizosfera e conferir propriedades benéficas às plantas, melhorando seu desempenho frente às adversidades ambientais [7-9]. Além disso, as BPCP podem aumentar e estimular a resistência das plantas a pragas, patógenos, salinidade e desequilíbrios de pH [10].

As BPCP utilizam basicamente três mecanismos para promover o crescimento das plantas: i) fitoestimulação pela síntese de fitormônios (e.g. auxinas, citocininas, giberelinas), síntese de ACC deaminase, enzima capaz de modular os níveis de etileno, ii) biofertilização pela disponibilização de macro e micronutrientes como N, P, e Fe e iii) controle biológico por meio de competição com fitopatógenos por nutrientes, indução de resistência sistêmica das plantas, produção de antimicrobianos e metabólitos secundários [4,10-22].

Porém, apesar da importância dos micro-organismos em olerícolas, estudos sobre a utilização de BPCP para mitigar os efeitos do déficit hídrico são ainda bastante limitados, com poucas BPCP disponíveis para serem transformadas em produtos comerciais de uso em larga escala [23]. Desse modo, é extremamente importante e fundamental que cada vez mais pesquisas sejam realizadas para verificar o potencial de micro-organismos em promover o crescimento e desenvolvimento das plantas sob influência de fatores abióticos, como o déficit hídrico.

Uma olerícola de interesse e altamente responsiva é o tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.), pois é uma das hortaliças mais consumidas e populares no mundo [24], amplamente cultivada, especialmente em ambientes protegidos [25], carecendo de estratégias de manejo que possam minimizar os impactos causados por estressores abióticos, como déficit hídrico. Por isso, o uso de BPCP na produção de tomate pode ser empregado para aumentar a produtividade das lavouras, bem como a resistência dos frutos, a atividade antioxidante e a concentração de metabólitos secundários [26], aumentando a qualidade de frutos. Esta qualidade é o principal fator determinante na preferência de compra do consumidor, sendo influenciada pelo manejo pré e pós-colheita, os quais podem afetar a composição nutricional, tamanho e aroma do fruto [27].

Desse modo, BPCP dos gêneros *Bacillus* e *Burkholderia* apresentam potencial para assegurar a produtividade e qualidade de frutos de tomate cereja, pois estas bactérias são capazes de promover o crescimento das plantas de forma direta ou indireta, atuando na solubilização de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio e produção de fitormônios [22, 28-30] e por apresentarem potencial antimicrobiano [21-22, 31-32].

A partir destes pressupostos, objetivou-se com este trabalho analisar as características morfológicas, atributos tecnológicos e produtividade do tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3 em condições de déficit hídrico induzido.

4.2. Resultados

Destaca-se que o volume total de água aplicado foi de 256,66, 343,06, 429,47 e 515,88 mm para plantas de tomate cereja inoculados ou sem inoculação para os níveis de reposição hídrica de 40, 60, 80 e 100% da ETc, respectivamente.

4.2.1 Análises experimentais

4.2.1.1 Análises morfométricas das plantas

Não houve interação significativa para os níveis de reposição hídrica e inoculações ($P > 0,05$) para as variáveis massa fresca e seca da parte aérea e da raiz, volume de raiz, e, por isso, os fatores foram analisados isoladamente.

A inoculação com *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3 aumentou o rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da parte aérea (MFPA) e da raiz (MFR) em 135%, 122% e 58% em relação às plantas não inoculadas ($P < 0,05$) (Tabela 1). Em contrapartida, a inoculação com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 não diferiu da inoculação com *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3 ou do tratamento sem inoculação para MFPA e MFR. A massa seca da raiz (MSR) não foi influenciada pela inoculação com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 ou *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3. O volume de raiz foi afetado pela inoculação com *Bacillus subtilis* linhagem ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* linhagem

TC3.4.2R3, aumentando em 61,61% e 74,10% em relação às plantas não inoculadas, respectivamente ($P < 0,05$).

Tabela 1. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) e volume da raiz (VR) do tomate cereja inoculado.

	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
MFPA*	578,6 ab	648,05 a	291,33 b
MSPA*	209,06 a	205,79 a	87,27 b
MFR* ^g	69,25 ab	75,15 a	47,46 b
MSR ^{ns}	12,15 a	13,84 a	9,37 a
VR* ^{cm³}	113,13 a	121,87 a	70,00 b

Letras diferentes na linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey. *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

A massa fresca (Figura 1) e o volume da raiz (Figura 2) apresentaram comportamento quadrático, ambas sendo maior em plantas em situação de déficit hídrico mais acentuado ou próximas da reposição hídrica de 100%.

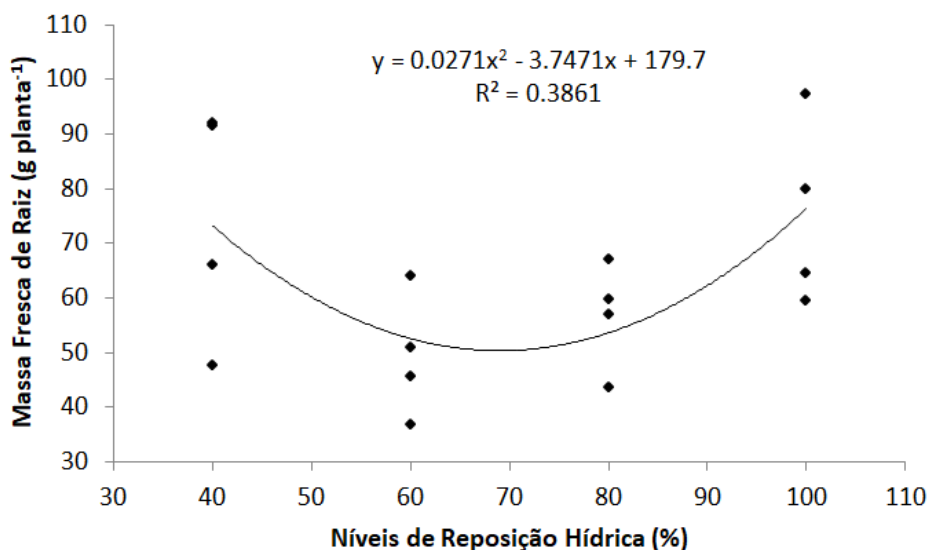


Figura 1. Massa fresca de raiz (MFR) de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.

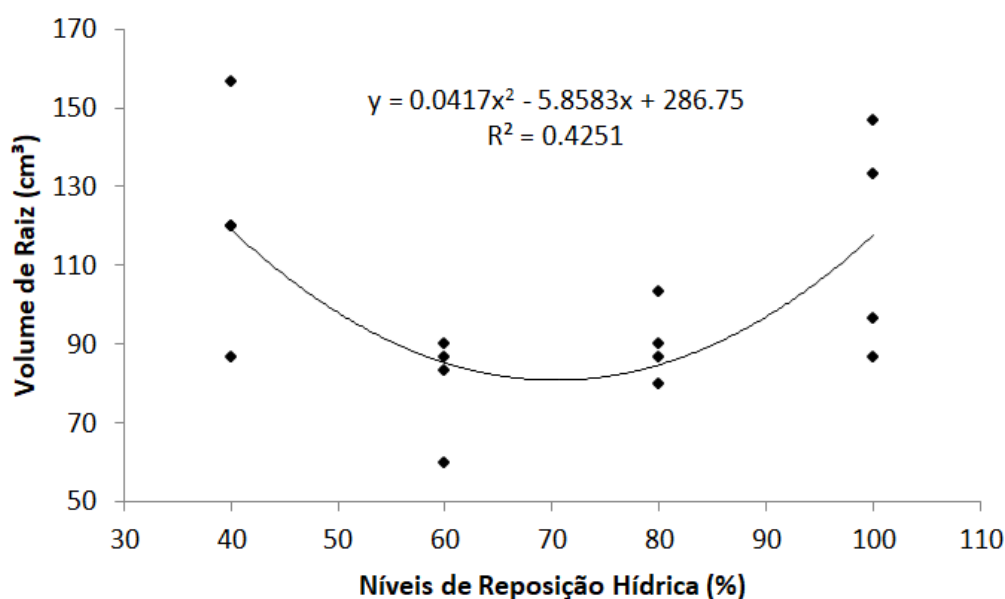


Figura 2. Volume de raiz de plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.

4.2.1.2. Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos

Não houve interação significativa para os níveis de reposição hídrica e inoculações ($P > 0,05$) para as variáveis peso dos frutos (PF), teor de sólidos solúveis (SS), número de sementes (NS), diâmetro latitudinal (DLAT) e longitudinal (DLONG) e, por isso, os fatores foram analisados isoladamente.

Plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram maiores SS, mas também apresentaram menor PF e NS por fruto ($P < 0,05$) (Tabela 2). Os frutos provenientes de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram maior DLAT e DLONG ($P < 0,05$).

Tabela 2. Peso do fruto (PF), teor de sólidos solúveis (SS), número de sementes por fruto (NS), diâmetro latitudinal (DLAT) e diâmetro longitudinal (DLONG) do tomate cereja inoculado.

		<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
PF*	g	4,18 ab	3,58 b	4,72 a
SS*	°BRIX	7,04 a	6,97 a	5,10 b
NS*	unitário	30,06 ab	26,77 b	36,52 a
DLAT*	mm	22,63 a	21,80 ab	20,49 b
DLONG*	mm	22,40 a	22,28 a	20,99 b

Letras diferentes na linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey. *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e os níveis de reposição hídrica (NRH) não influenciaram no número de cachos por planta.

Houve interação significativa entre os níveis de reposição hídrica e inoculações para o número de frutos por cacho ($P < 0,01$) (Tabela 3).

Tabela 3. Número de frutos por cacho (NFC) de plantas de tomate cereja inoculado sob diferentes níveis de reposição hídrica (NRH).

Inoculação/ NRH	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
40%	3,50 Ab	5,27 Aba	2,95 Bb
60%	3,54 Ab	5,04 Aba	3,57 Bb
80%	3,05 Ab	6,24 Aa	2,94 Bb
100%	4,59 Aa	4,31 Ba	5,55 Aa

Letras diferentes minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey. *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

Plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858, independente dos níveis de reposição hídrica, apresentaram o número de frutos por cacho similares. Em contrapartida, plantas não inoculadas apresentaram maior número de frutos por cachos somente em plantas que receberam 100% de reposição hídrica (Tabela 3). Quanto à inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, o maior número de frutos por cacho foi observado nos níveis de reposição hídrica correspondentes a 80%, 40% e 60%. A reposição de 100% proporcionou menor número de frutos por cachos. Além disso, a inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, com exceção do nível de reposição hídrica de 100%, aumentou o número de frutos por cacho em relação a plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e plantas não inoculadas. O número de frutos por cacho apresentou comportamento quadrático em função dos níveis de reposição hídrica (Figura 3).

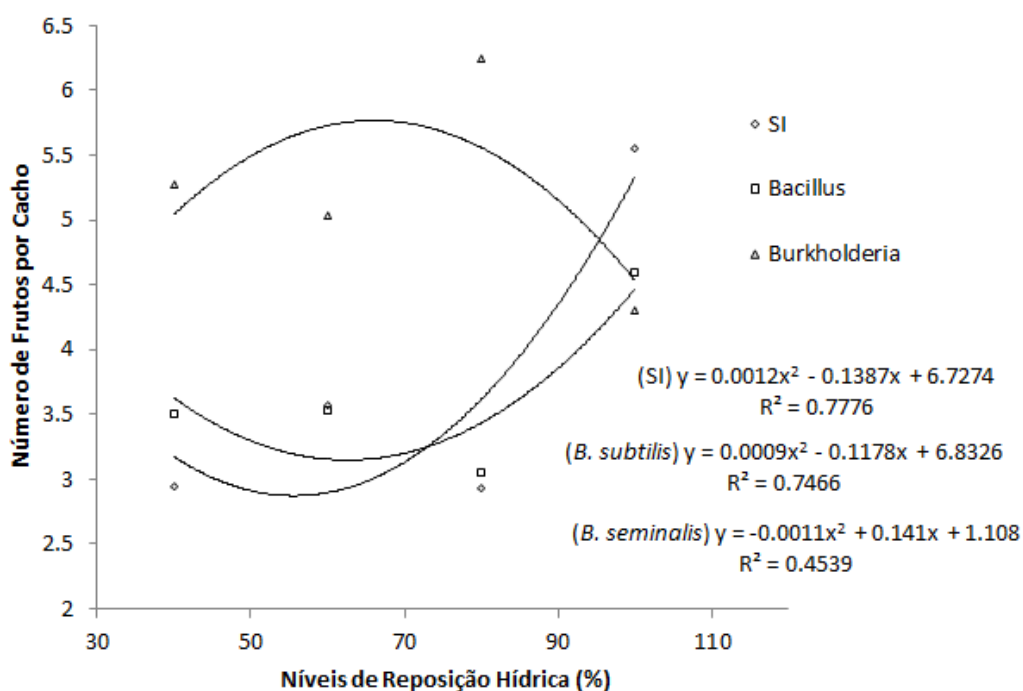


Figura 3. Número de frutos por cacho em plantas de tomate cereja inoculados com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 (BA), *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 (BU) e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.

A produtividade do tomate cereja apresentou comportamento quadrático em função dos diferentes níveis de reposição hídrica, apresentando ponto de máxima produtividade equivalente a 92,5% de reposição hídrica (Figura 4).

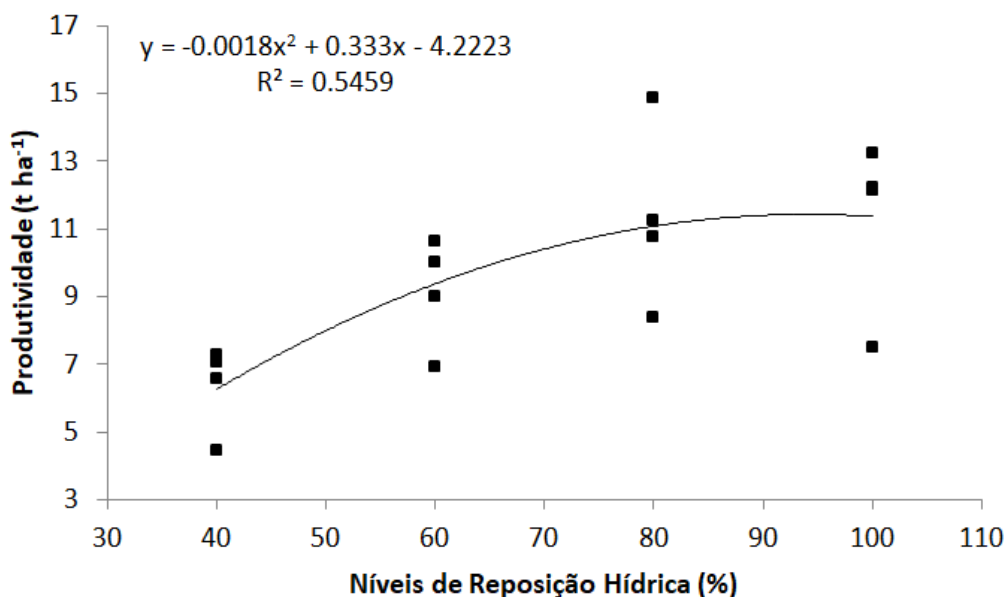


Figura 4. Produtividade de tomate cereja submetido a diferentes níveis de reposição hídrica.

Não houve interação significativa entre os níveis de reposição hídrica e inoculação quanto à qualidade de frutos. Enquanto que as características físico-químicas do tomate cereja, nas condições deste estudo, não diferiram significativamente (Tabela 4).

Tabela 4. Atividade de água (Aa), acidez titulável (AT, mg 100g de ácido cítrico⁻¹), pH, punção (PN) e compressão (CP) do tomate cereja inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação sob diferentes níveis de reposição hídrica.

NRH	Inoculação	Aa	AT	pH	PN	CP
40%	<i>Bacillus subtilis</i>	0,98	0,42	3,73	4,09	11,13
	<i>Burkholderia seminalis</i>	0,99	0,41	4,07	4,3	10,63
	Sem inoculação	0,98	0,58	4,09	4,42	14,9
60%	<i>Bacillus subtilis</i>	0,99	0,52	3,73	5,18	16,05
	<i>Burkholderia seminalis</i>	0,99	0,40	4,14	4,86	12,83
	Sem inoculação	0,99	0,44	4,2	4,88	12,47
80%	<i>Bacillus subtilis</i>	0,99	0,52	4,3	4,51	17,86
	<i>Burkholderia seminalis</i>	0,99	0,52	4,12	4,49	15,08
	Sem inoculação	0,99	0,50	4,07	4,6	17,13
100%	<i>Bacillus subtilis</i>	0,99	0,52	4,1	4,12	13,25
	<i>Burkholderia seminalis</i>	0,99	0,47	4,1	3,96	12,25
	Sem inoculação	0,99	0,47	4,1	3,96	12,25

4.2.1.3. Análises fisiológicas

Não houve interação significativa para os níveis de reposição hídrica e inoculações ($P > 0,05$) para as variáveis teores de clorofila b e de carotenoides e, por isso, os fatores foram analisados isoladamente. O teor de clorofila b foi maior em plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e o teor de carotenoides foi superior em plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 ou em plantas não inoculadas ($P < 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de clorofila b (Cb) e teor de carotenoides (Ct) de plantas de tomate cereja inoculado.

		<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
Cb*	$\mu\text{g g}^{-1}$	4,07 a	2,92 b	3,29 b
Ct*	planta	1,58 a	1,22 b	1,50 a

Letras diferentes na linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey. *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

Houve interação significativa entre os níveis de reposição hídrica e inoculações para conteúdo hídrico foliar ($P < 0,01$) e teor de clorofila a ($P < 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6. Conteúdo hídrico foliar (CHF) e teor de clorofila a (Ca) de plantas de tomate cereja inoculado sob diferentes níveis de reposição hídrica (NRH).

Inoculação/ NRH	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Burkholderia seminalis</i>	Sem inoculação
CHF* (%)	40%	35,39 BCa	17,93 Cb
	60%	34,11 Ca	32,35 Ba
	80%	47,75 Aba	32,50 Bb
	100%	53,68 Aab	47,34 ABab
Ca* ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta)	40%	7,04 Aa	4,73 Bb
	60%	7,46 Aa	3,98 Bb
	80%	8,09 Aa	4,89 Bb
	100%	7,89 Aa	6,57 Aba

Letras diferentes minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey. *Significativo ao nível de 5% pelo teste de Tukey; **Significativo ao nível de 1% teste de Tukey; ^{ns}Não significativo.

Independente da inoculação, os maiores conteúdos hídricos foliares foram observados em plantas que receberam 100% da reposição hídrica. Em contrapartida, plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 que receberam 40% da reposição hídrica apresentaram maior conteúdo hídrico foliar do que plantas não inoculadas (Tabela 6). O conteúdo hídrico foliar apresentou comportamento quadrático quanto aos níveis de reposição hídrica em plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação (Figura 5).

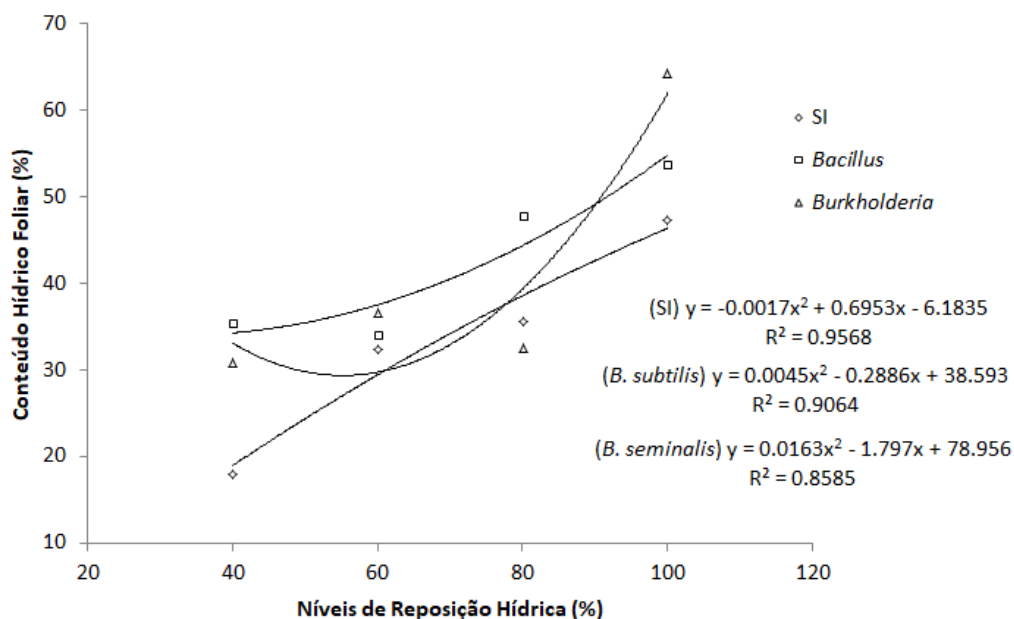


Figura 5. Conteúdo hídrico foliar (CHF, %) em plantas de tomate cereja inoculados com *Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.

Plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 apresentaram teores de clorofila “a” similares em todos os níveis de reposição hídrica e superiores aos de plantas inoculadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação (Tabela 6). O teor de clorofila “a” apresentou comportamento quadrático em plantas inoculadas e não inoculadas (Figura 6). O teor de clorofila “a” máximo em plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 pode ser encontrado com níveis de reposição hídrica de 88,37%.

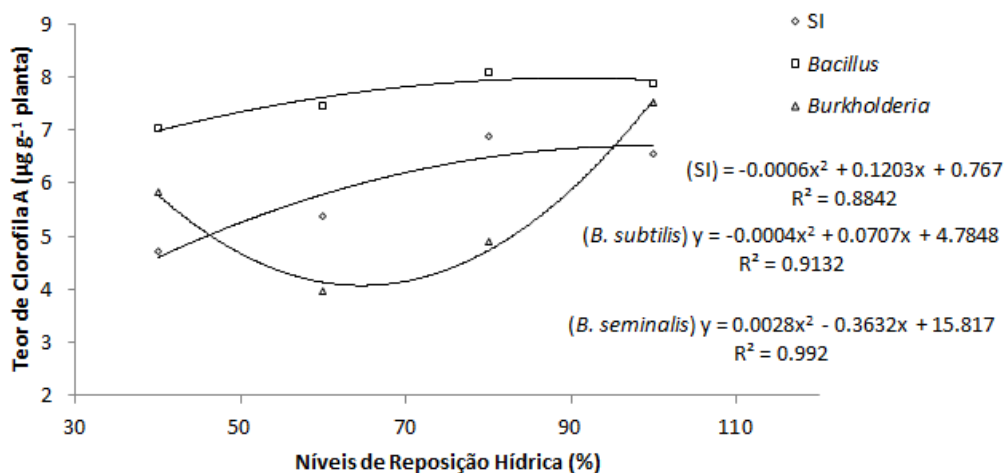


Figura 6. Teor de clorofila “a” ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja inoculados com *Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação (SI) em função dos níveis de reposição hídrica.

Os teores de clorofila “b” (Figura 7) e de carotenoides (Figura 8) apresentaram comportamento quadrático, observando maiores teores para níveis de reposição hídrica próximos a 40% ou 100%.

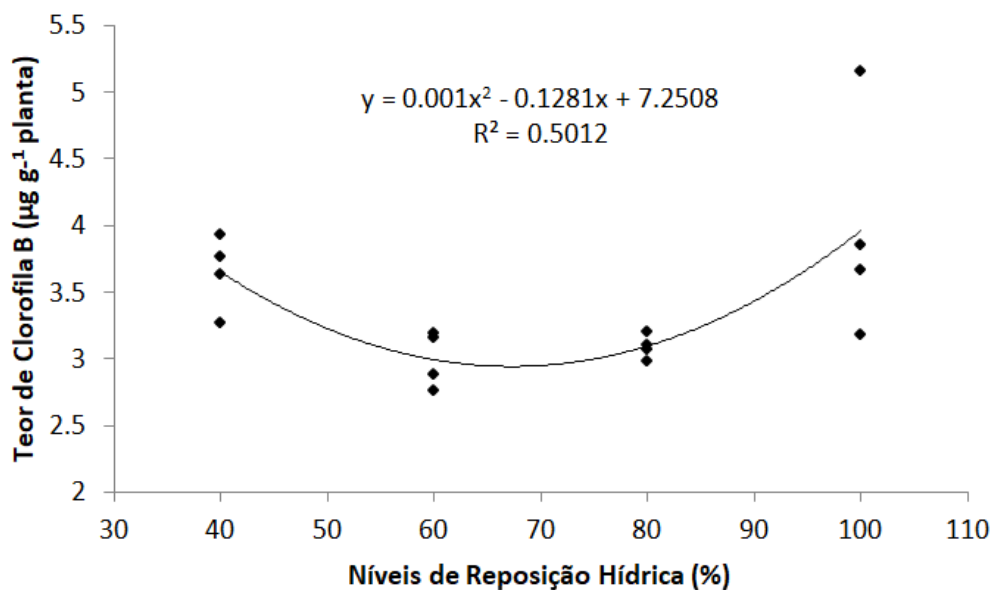


Figura 7. Teor de clorofila “b” ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.

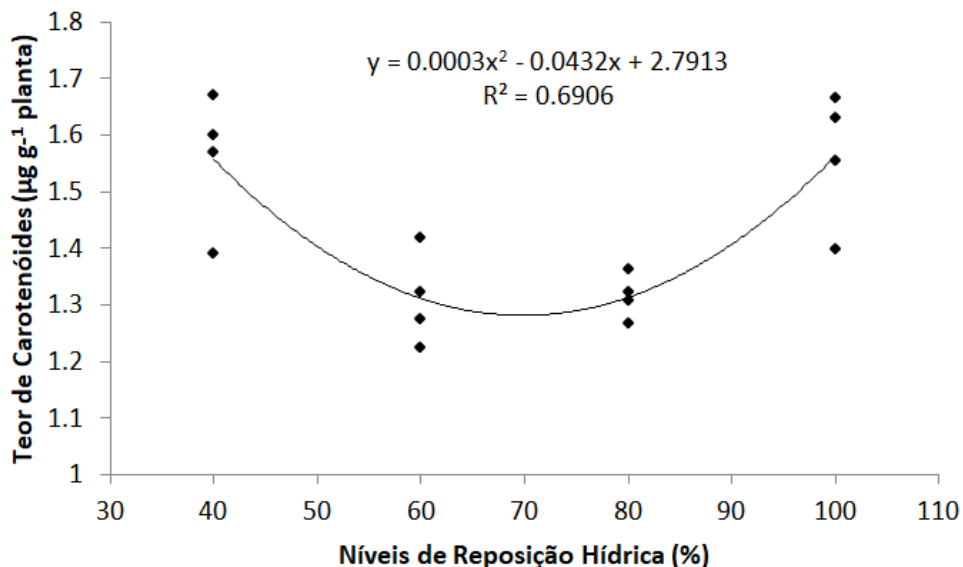


Figura 8. Teor de carotenóides ($\mu\text{g g}^{-1}$ planta) em plantas de tomate cereja submetidas a diferentes níveis de reposição hídrica.

4.2.1.4. Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) para verificação do efeito da inoculação indica que as variáveis em estudo concentraram-se nos tratamentos com inoculação bacteriana (*Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3) apresentando maior dissimilaridade em relação ao tratamento sem inoculação (Figura 9). O somatório da variância da componente principal (CP) 1 com a da CP2 possui uma variância total da ordem de 45,81%, assim a taxa de explicação das correlações das informações apresentadas corresponde a quase 50% do conjunto total dos dados.

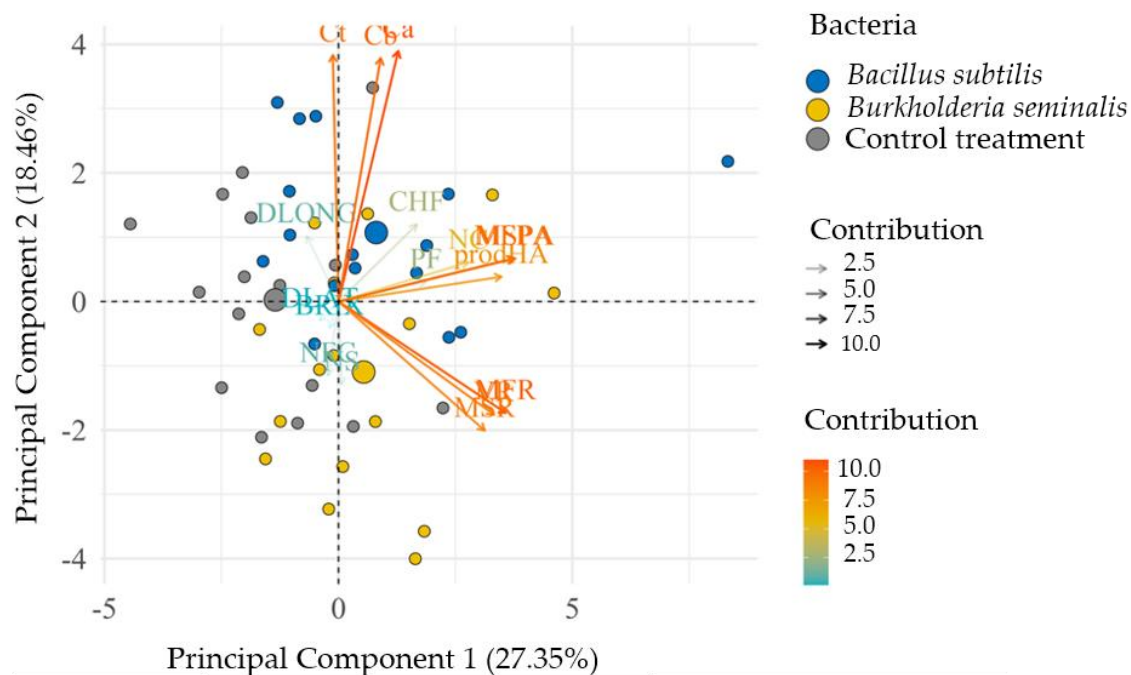


Figura 9. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis em função das inoculações. **Legenda:** massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), volume de raiz (VR), teor de sólidos solúveis (BRIX), produtividade (prodHA), número de cachos por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), peso médio do fruto (PF), conteúdo hídrico foliar (CHF), diâmetro latitudinal do fruto (DLAT), diâmetro longitudinal do fruto (DLONG) e número de sementes por fruto (NS).

A Figura 10 também apresenta a análise de componentes principais (ACP) para verificação dos níveis de reposição hídrica, evidenciando que a maioria das variáveis em estudo concentrou-se nos tratamentos com 100 e 80% dos níveis de reposição hídrica, apresentando maior dissimilaridade em relação aos tratamentos com maior déficit hídrico. Contudo, de acordo com o gráfico biplot, os teores de clorofila a, clorofila b e carotenoides responderam aos níveis de reposição hídrica de 40 e 100%. Esta alta nos parâmetros de 40% podem ser respostas positivas da inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3.

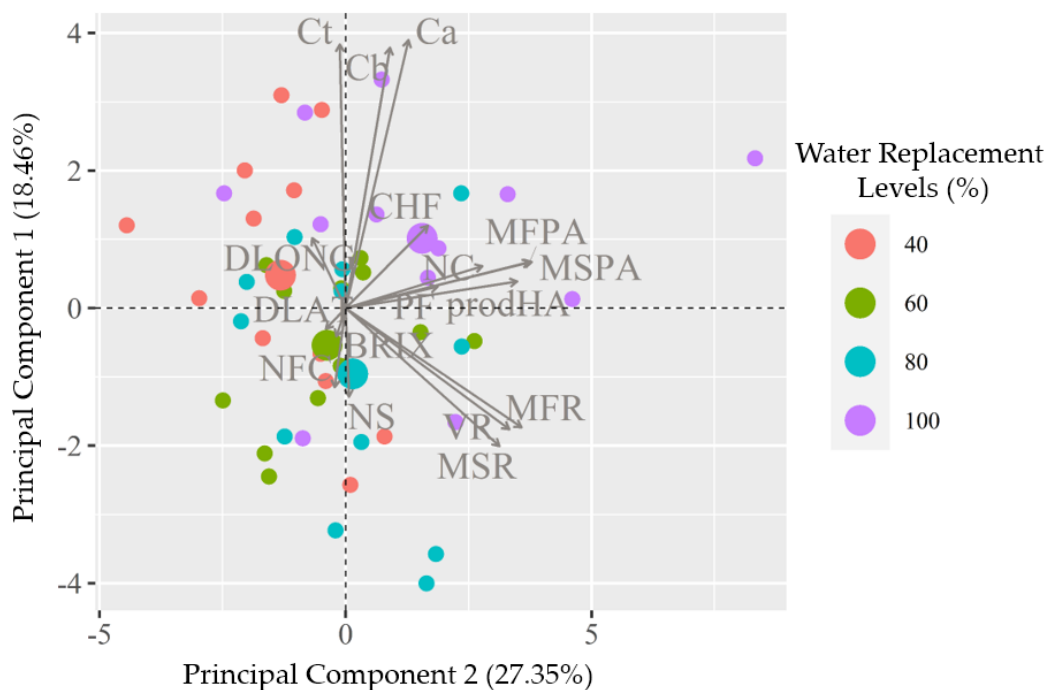


Figura 10. Análise de componentes principais (ACP) das variáveis em função dos níveis de reposição hídrica (lâminas de 40, 60, 80 e 100% da ETc).

Legenda: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), volume de raiz (VR), teor de sólidos solúveis (BRIX), produtividade (prodHA), número de cachos por planta (NC), número de frutos por cacho (NFC), peso médio do fruto (PF), conteúdo hídrico foliar (CHF), diâmetro latitudinal do fruto (DLAT), diâmetro longitudinal do fruto (DLONG) e número de sementes por fruto (NS).

4.3. Discussão

4.3.1. Análises experimentais

4.3.1.1. Análises morfométricas das plantas

No presente estudo, os diferentes níveis de reposição hídrica não afetaram os parâmetros de MFPA e MSPA, bem como da MSR. Entretanto, observou-se comportamento linear crescente para volume de raiz e MFR. O mesmo foi observado no cultivo de tomate cereja das cultivares Sweet Heaven e Mascot F1 [33]. Contudo, neste estudo a MFR também não foi afetada pelos diferentes níveis de reposição hídrica. Outro estudo relata que o déficit hídrico não afetou os parâmetros de rendimento de plantas de tomate cereja [34]. Contudo, as respostas das culturas ao déficit hídrico estão intimamente relacionadas ao tempo de exposição a este déficit [35].

As plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 apresentaram, no geral, maiores incrementos na MFPA e MSPA e das MFR e MSR, bem como no volume da raiz. A inoculação com outras linhagens do gênero *Bacillus* aumentou significativamente o peso fresco de caules e raízes do tomate [36] e o peso fresco, seco e volume de raízes do tomate cereja Cherry 261 [37]. Aumento nos índices de matéria seca de raiz e parte aérea do tomate já foram relatados em plantas inoculadas com *Burkholderia gladioli* e *Bacillus subtilis* [38]. Numa outra solanácea, *Capsicum frutescens*, algumas linhagens de *Burkholderia* mostraram-se promissoras em aumentar os parâmetros de crescimento das plantas [39].

A inoculação de microrganismos promotores do crescimento de plantas, em especial do gênero *Bacillus* e *Burkholderia*, aumentam o volume e a área superficial das raízes [40], a produção de massa fresca e seca de raiz e parte aérea do tomate [38,41].

Alguns trabalhos relatam que o crescimento do tomateiro pode estar associado à capacidade de produção de ácido indolacético (AIA), da solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio pelas bactérias promotoras de crescimento do gênero *Bacillus* e *Burkholderia* [19, 32, 40, 42].

O incremento na matéria seca do tomate cereja pode estar associado com a capacidade de fixar nitrogênio [28] das cepas em estudo, visto que o nitrogênio está envolvido nos processos de assimilação de aminoácidos (glutamato, glutamina, aspartato e aspargina) que são utilizados pela planta para promover seu crescimento, defesa e processos reprodutivos [43].

O maior desenvolvimento de raízes de plantas inoculadas com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 pode estar associada ao fato de bactérias do gênero *Burkholderia* serem capazes de reduzir a absorção de ferro, como Cádmiu, nas raízes [44], sugerindo que esta bactéria pode impedir o acúmulo de metais e promover o aumento das raízes [45].

4.3.1.2. Análises morfológicas, produtividade e qualidade dos frutos

O teor de sólidos solúveis não foi afetado pela irrigação deficitária, mas foi afetado pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. O aumento no teor de sólidos solúveis aumentou em condições de déficit hídrico no tomate em 17,9, 12,2 e 12,4% em relação ao tratamento controle [46-48], respectivamente. O aumento do teor de sólidos solúveis nos frutos foi relatado em plantas de tomate inoculadas com bactérias promotoras de crescimento de plantas (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis*) [49], corroborando com o presente trabalho. A inoculação com *Bacillus* sp. no tomate cereja não afetou o teor de sólidos solúveis [50].

A qualidade nutricional do tomate cereja pode ser afetada pela alteração na produção de aminoácidos ou de outros metabólitos secundários em condições de irrigação deficitária ou seca, já que estas rotas são modificadas nestas condições [51-52], podendo afetar o teor de sólidos solúveis.

O tamanho dos frutos não foi afetado pelo déficit hídrico, mas foi afetado pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Em contrapartida, a redução do tamanho de frutos (diâmetro latitudinal e longitudinal) do tomate cereja são diretamente proporcionais ao nível de reposição hídrica, resultando em frutos de menor tamanho em situações de déficit hídrico induzido [33, 48, 53]. O peso dos frutos de tomate de plantas não inoculadas foi ligeiramente superior ao de frutos de plantas inoculadas com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Diferentemente, o tamanho similar de frutos de tomate de plantas inoculadas e não inoculadas já foi observado [54].

No geral, houve incremento do número de frutos por cacho nas plantas de tomate cereja inoculado com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 em relação ao tratamento sem inoculação e inoculado com *Bacillus subtilis* ATCC 23858. A inoculação com um mix de BPCP (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus subtilis*) aumentaram o número de frutos produzidos por planta, podendo estar diretamente relacionado ao número frutos por cachos das plantas [49]. O número de cachos por planta não diferiu entre as plantas inoculadas e não inoculadas no presente estudo.

A produtividade do tomate cereja não foi afetada pela inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, mas foi afetada pelos níveis de reposição hídrica. O tomate cereja em déficit hídrico reduziu a produtividade. Em contrapartida, a produtividade do tomateiro, sem condições de déficit hídrico, teve incrementos de 36,36% na produtividade por planta quando as plantas foram inoculadas com alta concentração de *Bacillus velezensis* 83 (10⁸ UFC/mL) [55]. A redução da produtividade do tomate cereja das cultivares Sweet Heaven e Mascot F1 em condições de déficit hídrico foi relatada [33].

4.3.1.3. Análises fisiológicas

O déficit hídrico acentuado (40%) não reduziu os teores de clorofila a, b e carotenoides, mas foi verificado menores teores em plantas em situação de déficit hídrico intermediário (60 e 80%). O déficit hídrico intermediário no tomate proporcionou a redução destes pigmentos, mesmo em condições de inoculação por bactérias promotoras de crescimento de plantas [56]. A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou os teores de clorofila “b” e carotenoides e a inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou o de carotenoides em relação a plantas sem inoculação. Diferente disto, diferenças não foram relatadas entre a concentração dos pigmentos fotossintetizantes no tomate cereja da cultivar Cherry 261 e Santa Clara 230 inoculados ou não com uma linhagem de *Bacillus* [37].

A redução dos teores de carotenoides e de clorofila a e b estão associados ao fechamento estomático, que é a primeira ação da planta quando submetida a um estresse hídrico para reduzir a perda de água por transpiração. O fechamento dos estômatos resulta em baixa condutância estomática, diminuindo a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, redução fotossintética, resultando em plantas menores e de menor biomassa [57-58].

4.3.1.4. Análise de componentes principais

A variância total da ACP (CP1 + CP2) foi de ordem de 45,81%. A ACP é de grande importância para compreender as características morfológicas e de rendimento da cultura, tais como MFPA, MFR, MSPA, MSR, CR e VR, principalmente quando estes valores acumulados são maiores que 60% [59-60]. Para este tipo de variável na cultura do tomate cereja, variâncias acumuladas próximas de 70% e 63% já foram encontradas [25, 61].

4.4. Material e Métodos

4.4.1. Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido entre os meses de fevereiro e julho de 2023, em casa de vegetação localizada na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano – *Campus* Ceres), no município de Ceres, Goiás, Brasil (15°21'01.5”S de latitude 49°35'55.2”W de longitude e 580 m de altitude), com destaque para alguns registros do experimento com tomate cereja (Figura 11).

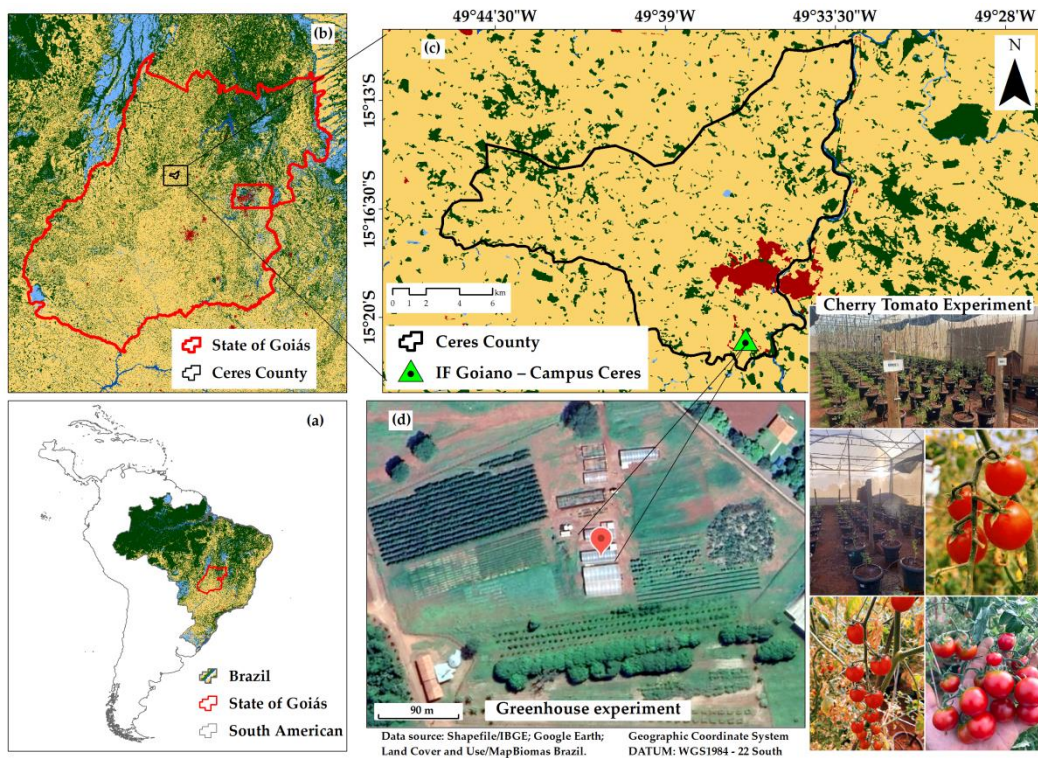


Figura 11. Localização espacial da área de estudo, experimento em casa de vegetação (d), IF Goiano – Campus Ceres (c), localizado no estado de Góias (b), Brasil (a).

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima da região é Aw, tropical com estação seca durante o inverno [62]. As temperaturas dentro da casa de vegetação foram registradas usando uma estação meteorológica (Vantage Pro 2; Davis; Hayward, CA, EUA). Visualizado na Figura 12, as temperaturas mínima e máxima do ar registradas ao longo do estudo foram de 10,5 e 41,3 °C, respectivamente, com valor médio de 24,4 °C.

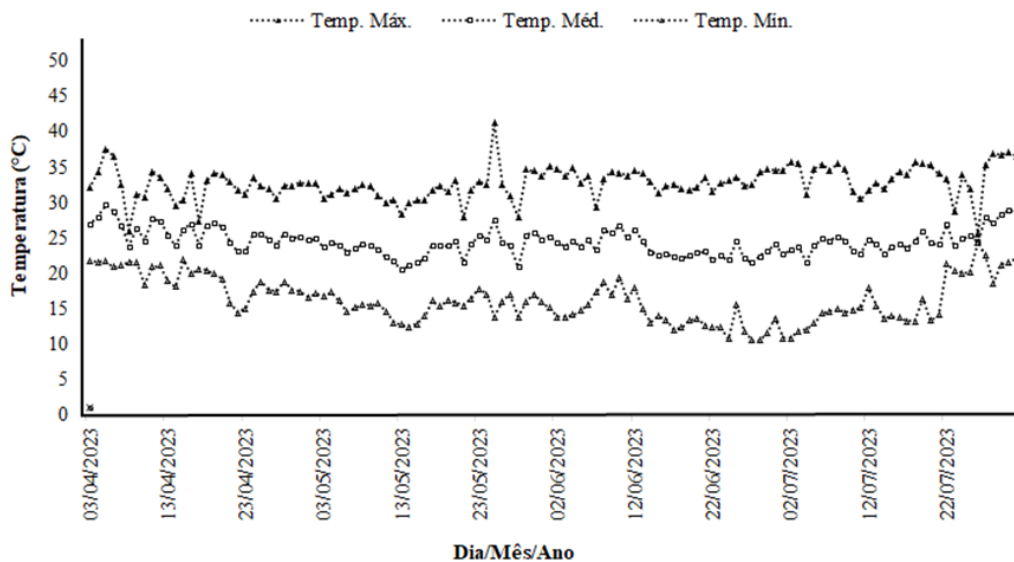


Figura 12. Temperatura máxima (Temp. Máx.), mínima (Temp. Mín.) e a média (Temp. Méd.) diária durante a condução do experimento em casa de vegetação.

4.4.2. Delineamento e arranjo experimental

A definição dos tratamentos de inoculação, que foram estudados no presente trabalho, foi realizada previamente, pelo método da sobrecamada [63], que revelou o antagonismo entre as linhagens *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. Por isso, inoculou-se as linhagens isoladamente e não em consórcio.

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas (4x3) com quatro blocos. As parcelas foram compostas por quatro níveis de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100% da evapotranspiração da cultura – ETc) e três níveis quanto à inoculação, que consistiram em i) inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858, ii) *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e iii) sem inoculação (SI). Cada parcela experimental foi composta por quatro plantas, totalizando 192 plantas.

4.4.3. Microbiolização

As bactérias foram cultivadas em caldo nutriente (Kasvi®) e incubadas a 28 °C em Incubadora Shaker (Solab, modelo SL 222, Piracicaba, SP, Brasil) a 150 rpm por 24 h. O inóculo foi padronizado por densidade óptica (D.O) de 1.0 a 600 nm em espectrofotômetro (Duplofeixe UV-Visível, Global Analyzer, modelo GTA-101, Calgary, Canadá), para obter concentração final de 10⁹ Unidades Formadoras de Colônia (UFC) mL⁻¹.

As sementes de tomate cereja (TopSeed Garden, linha blueline, Monte Alto, São Paulo, Brasil) foram desinfetadas superficialmente por imersão em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl 1%) por um minuto e, em seguida, álcool 70% por mais um minuto [64]. Posteriormente, as sementes foram lavadas em água destilada estéril e dispostas em papel filtro estéril para secagem natural.

Após este processo as sementes foram microbiolizadas com as suspensões bacterianas por 20 minutos, na proporção de 1 mL de bioinoculante g⁻¹ de semente, em capela de fluxo laminar. Para o tratamento sem inoculação as sementes foram embebidas em caldo nutriente estéril, sob as mesmas condições.

4.4.4. Semeadura, transplante e manejo experimental

As sementes de tomate cereja já microbiolizadas foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido, com 128 células (Isoeste, Castanhal, PA, Brasil), contendo substrato Topstrato HA Hortaliças (Genfertil, Provaso, Indústria e Comércio de Fertilizantes Orgânicos, Mogi Mirim, São Paulo, Brasil), composto por casca de pinus, vermiculita, PG Mix 14.16.18, nitrato de potássio, superfosfato simples e turfa.

Aos 15 dias após a semeadura (DAS), as plântulas foram repicadas para recipientes de 200 cm³ contendo o mesmo tipo de substrato onde foi realizada a reinoculação com 5 mL de suspensão bacteriana (10⁹ UFC mL⁻¹) via *drenching* na base do caulíneo da plântula. O tratamento sem inoculação recebeu 5 mL de caldo nutriente estéril.

Aos 30 DAS as mudas foram transplantadas para vasos comerciais flexíveis de 16 L (dimensões: 23,5 cm de altura, 27 cm de largura parte superior e 23,5 cm na base) contendo substrato composto por solo e areia na proporção 2:1. O solo utilizado para preparo do substrato era composto de 24,2% de areia, 8,2% de silte e 67,5% de argila; pH (em H₂O) 4,4; matéria orgânica: 3,8 g dm⁻³; cálcio 0,7 cmolc dm⁻³; magnésio: 0,6 cmolc dm⁻³; potássio: 25,9 mg dm⁻³ e fósforo: 2,6 mg dm⁻³; saturação de base: 35,84%.

Após o transplante para os vasos, foi realizada a reinoculação com suspensão bacteriana (10⁹ UFC mL⁻¹) via *drenching* na base da planta, ao redor do caule, aplicando-se 10 mL de solução bacteriana e novas inoculações realizadas quinzenalmente até os 90 dias após o transplante (DAT). O tratamento sem inoculação recebeu caldo nutriente estéril nas mesmas condições.

Antes do transplante, a umidade dos substratos contidos nos vasos foi elevada à capacidade do vaso (0,37 m³ m⁻³) [65-66]. A partir do transplante até aos 105 DAT, foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores do tipo botão com vazão de 2 L h⁻¹ e

fluxo autocompensante. A irrigação foi realizada de forma manual, adotando manejo de irrigação via clima através de um mini tanque classe A instalado no centro da casa de vegetação. Diariamente as leituras do tanque foram realizadas e a irrigação foi acionada de acordo com o nível de reposição hídrica (40, 60, 80 e 100% da ETc).

O espaçamento utilizado foi de 0,7 m entre plantas, 0,7 m entre linhas e 1 m entre linhas duplas, equivalente a uma população de 20.408 plantas por hectare. As plantas foram tutoradas com o sistema vertical em fitilhos e o manejo preventivo de doenças realizado através da aplicação de calda bordalesa aos 10 DAT, aplicação de fungicida sistêmico Score ® e inseticida sistêmico, de contato e de ingestão Platinum Neo (Lagare), conforme recomendações da bula. Realizou-se a retirada dos brotos laterais (desbaste) semanalmente a partir dos 30 DAT. O manejo de plantas daninhas foi realizado, tanto nos vasos quanto no chão, manualmente durante todo o período experimental.

4.4.5. Análises experimentais

4.4.5.1. Análises morfométricas das plantas

As análises morfométricas foram realizadas aos 105 DAT, sendo avaliado o volume da raiz (VR, cm³), comprimento da raiz (CR, cm), massa fresca de raiz (MFR, g planta⁻¹), massa seca de raiz (MSR, g planta⁻¹), massa fresca da parte aérea (MFPA, g planta⁻¹) e massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹) foram avaliadas aos 105 DAT, mantendo a massa fresca em estufa de circulação de ar forçada por 72 h, a uma temperatura de 65 °C [67].

4.4.5.2. Análises morfométricas, produtividade e qualidade dos frutos

As colheitas também foram realizadas quinzenalmente a partir dos 60 DAT, totalizando quatro colheitas ao longo do período experimental. Após cada colheita foram avaliados diâmetro longitudinal (DLONG, mm) e diâmetro latitudinal (DLAT, Mm), utilizando um paquímetro digital (King Tools, Pompéia, SP, Brazil), peso médio do fruto (PF), número de cachos (NC), número de frutos por cacho (NFC), número de sementes por fruto (NSF) e produtividade total (prodHA, t ha⁻¹).

Os parâmetros de qualidade dos tomates foram avaliados a partir das análises físico-químicas de pH, teor de sólidos solúveis, atividade de água e acidez titulável, utilizando 10 frutos de cada tratamento por colheita. As avaliações foram realizadas em triplicata.

O pH foi medido diretamente nas amostras por método eletrométrico [68]. O teor de sólidos solúveis totais foi quantificado utilizando um refratômetro digital (Brix/RI-Check; Reichert Technologies, Unterschleissheim, Munich, Germany), com resultados expressos em °Brix [68].

Para a acidez titulável, foram utilizados 5 g do suco de tomate homogeneizado, em balão volumétrico de 100 mL, cujo volume foi completado com água destilada. Uma alíquota de 10 mL desta solução foi transferida para um erlenmeyer de 50 mL e adicionados 2 a 3 gotas de indicador fenolftaleína. A amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,01N até atingir coloração rósea.

A atividade de água foi realizada por leitura direta da amostra em um aparelho AquaLab digital, modelo CX-2 (Pullman, EUA).

A textura dos tomates inteiros foi avaliada pelo Texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England) avaliando a compressão e punção dos frutos. Para velocidade do pré-teste, teste e pós-teste, adotou-se as velocidades de 2, 1 e 10 mm s⁻¹, respectivamente. A altura máxima das amostras para calibração foi de 20 mm e a probe para compressão e de punção foram P100 e P2, nesta ordem. Não foi utilizada lubrificação e a deformação foi de 50%.

4.4.5.3. Análises fisiológicas

Para a análise de pigmentos (clorofila a, clorofila b e carotenóides) foram utilizados seis discos foliares de 6 mm de diâmetro cada, deixados em solução de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio, em banho maria à 65 °C por 24 h antes de serem realizadas leituras no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 649, 665 e 480 nm [69].

Para determinação do conteúdo relativo de água foram utilizados seis discos foliares de 6 mm de diâmetro cada. Após serem pesados, esses discos foram embebidos em água destilada e armazenados em geladeira, por um período de 6 h. Os discos foram então pesados novamente para determinação do peso túrgido, e posteriormente, foram levados à estufa com circulação forçada de ar, a 80 °C, por um período de 24 h, para determinação do peso seco. Após a obtenção do peso fresco, túrgido e seco dos discos foliares, o conteúdo hídrico foliar de água (CHF) foi determinado de acordo com Eq. (1) de Smart and Bingham [70]:

$$\text{CHF} = (\text{MF} - \text{MS} / \text{MT} - \text{MS}) * 100,$$

1)

Sendo:

CHF: conteúdo hídrico foliar de água (%);

MF: Massa fresca dos discos foliares (mg);

MS: Massa seca dos discos foliares (mg);

MT: Massa túrgida dos discos foliares (mg).

4.4.6. Análises estatísticas

Os dados foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade de dados de Shapiro-Wilk (5%) para verificação da homocedasticidade. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e as variáveis significativas foram comparadas pelo teste de comparação de médias de Tukey para tipos de inoculações e análise de regressão para os níveis de reposição hídrica aos níveis de 5% e 1% de significância. Todas as análises foram realizadas pelo software R Statistical, versão R-4.2.1 for Windows (Oswaldo Cruz Foundation, Rio de Janeiro).

Para avaliar a relação entre amostras de tipos de inoculações (*Bacillus subtilis* ATCC 23858, *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 e sem inoculação - controle) ou os níveis de reposição hídrica com o conjunto de variáveis: teor de carotenóides (Ct), teor de clorofila a (Ca), teor de clorofila b (Cb), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), volume de raiz (VR), teor de sólidos solúveis (BRIX), produtividade (prodHA), número de cachos por planta (NC), número de sementes por fruto (NS), número de frutos por cacho (NFC), peso médio do fruto (PF), conteúdo hídrico foliar (CHF), diâmetro do colmo (DC), diâmetro latitudinal do fruto (DLAT) e diâmetro longitudinal do fruto (DLONG), realizou-se análise estatística multivariada dos dados, a partir da análise de componentes principais (ACP).

Para identificação das variáveis que apresentaram correlação, utilizou-se o critério de Kaiser, com base nos autovalores acima de 1, que geram CP com quantidade relevante de informação contida nos dados originais [71]. De modo que, observa-se as possíveis relações e/ou diferenças dentre o conjunto de variáveis a partir da correlação. Tais análises foram realizadas no software R, versão 3.6.1 [72]. As análises de CP foram realizadas utilizando R e RStudio, versão R 3.3.0+ [73].

4.5. Conclusões

A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou teores de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz. Além disso, aumentou o volume de raiz das plantas. Já a inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou os teores de carotenóides e de clorofila b. Contudo,

ambas as inoculações aumentaram o conteúdo hídrico foliar nas plantas com déficit hídrico mais acentuado (40% da ETc).

O uso das cepas *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 como bactérias promotoras de crescimento de plantas não afetou a qualidade de frutos, nas condições deste estudo, exceto pelo teor de sólidos solúveis (°BRIX).

Os maiores níveis de reposição hídrica (80 e 100% da ETc) promoveram maior produtividade, reduzindo a produtividade conforme irrigação deficitária.

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 auxiliou as plantas de tomate cereja em condições de déficit hídrico.

A análise de componentes principais (ACP) confirmou as principais correlações das variáveis apresentadas nos modelos estabelecidos neste estudo, e também observou novos padrões de respostas dando maior visibilidade ao conjunto de variáveis. Destacando principalmente que o conjunto de variáveis respondeu mais diretamente aos tratamentos com inoculação bacteriana e também entre os níveis de reposição hídrica de 100 e 80%.

4.6. Referências Bibliográficas

1. Ghaderi, N.; Hatami, M.R.; Mozafari, A.; Siosehmardeh, A. Change in antioxidant enzymes activity and some morpho-physiological characteristics of strawberry under long-term salt stress. *Physiology and molecular biology of plants* **2018**, *24*, pp. 833-843. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0535->
2. Mozafari, A.A.; Havas, F.; Ghaderi, N. Application of iron nanoparticles and salicylic acid in in vitro culture of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) to cope with drought stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* **2017**, *132*, pp. 511-523.
3. Valença, D.D.C.; Carvalho, D.F.D.; Reinert, F.; Azevedo, R.A.; Pinho, C.F.D.; Medici, L.O. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”. *Scientia Agricola* **2018**, *75*, pp. 52-59.
4. Chandra, P.; Wunnavu, A.; Verma, P.; Chandra, A.; Sharma, R.K. Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: a review. *Pedosphere* **2021**, *31*(3), pp. 496-509. doi:10.1016/S1002-0160(20)60092-3.
5. Fahad, S.; Bajwa, A.A.; Nazir, U.; Anjum, S.A.; Farooq, A.; Zohaib, A.; Huang, J. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science* **2017**, *1147*.
6. Meena, V.S.; Mishra, P.K.; Bisht, J.K.; Pattanayak, A. *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, 1st ed.; Springer Singapore: Singapore, 2017; p. 356.
7. Candido, V.; Campanelli, G.; D’Addabbo, T.; Castronuovo, D.; Perniola, M.; Camele, I. Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. *Scientia Horticulturae* **2015**, *187*, pp. 35-43.
8. Naylor, D.; Coleman-Derr, D. Drought stress and root-associated bacterial communities. *Frontiers in plant science* **2018**, *8*.
9. Jalal, A.; Oliveira, C.E.D.S.; Bastos, A.D.C.; Fernandes, G.C.; Lima, B.H.; Furlani-Junior, E.; Teixeira-Filho, M.C.M. Nanozinc and plant growth-promoting bacteria improve biochemical and metabolic attributes of maize in tropical Cerrado. *Frontiers in Plant Science* **2023**, *13*.
10. Goswami, M.; Deka, S. Plant growth-promoting rhizobacteria—alleviators of abiotic stresses in soil: a review. *Pedosphere* **2020**, *30*, pp. 40–61. doi: 10.1016/S1002-0160(19)60839-8.
11. Perin, L.; Aguilar, L.M.; Gonzalez, R.C.; Santos, P.E.; Avelar, T.C.; Guedes, H.V.; Reis, V.M.; Mellado, J.C. Diazotrophic *Burkholderia* species associated with field-grown maize and sugarcane. *Applied and environmental microbiology* **2006**, *72*(5), pp. 3103–3110
12. Ongena, M.; Jacques, P. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends in Microbiology* **2008**, *16*, pp. 115-125.
13. Yang, J.; Kloepper, J.W.; Ryu, C.M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in plant science* **2009**, *14*(1), pp. 1-4. Doi: 10.1016/j.tplants.2008.10.004.
14. Berg, G. Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied microbiology and biotechnology* **2009**, *84*, pp. 11-18.
15. Martínez-Aguilar L.; Salazar C.S.; Méndez, R.D.; Mellado J.C.; Hirsch, A.M.; Murrieta M.S.V.; Santos, P.E. *Burkholderia caballeronis* sp. nov., a nitrogen fixing species isolated from tomato (*Lycopersicon esculentum*) with the ability to effectively nodulate *Phaseolus vulgaris*. *Antonie Van Leeuwenhoek* **2013**, *104*(6), pp. 1063-1071. doi: 10.1007/s10482-013-0028-9.

16. Paungfoo-Lonhienne, C.; Lonhienne, T.G.; Yeoh, Y.K.; Webb, R.I.; Lakshmanan, P.; Chan, C.X.; Lim, P.E.; Ragan, M.A.; Schmidt, S.; Hugenholtz, P. A new species of *Burkholderia* isolated from sugarcane roots promotes plant growth. *Microbial Biotechnology* **2014**, *7*(2), pp. 142-54. doi: 10.1111/1751-7915.12105.
17. Junges, E.; Muniz, M.F.B.; Bastos, B.D.O.; Oruoski, P. Biopriming in bean seeds. *Acta Agriculturae Scandinavica* **2016**, *66*(3), pp. 207-214.
18. Asari, S.; Matzén, S.; Petersen, M.A.; Bejai, S.; Meijer, J. Multiple effects of *Bacillus amyloliquefaciens* volatile compounds: plant growth promotion and growth inhibition of phytopathogens. *FEMS Microbiology Ecology* **2016**, *92*(6). Doi: 10.1093/femsec/fiw070.
19. Borriss, R. Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update. *Bacilli and agrobiotechnology* **2016**, pp. 163-184.
20. Asari, S.; Tarkowská, D.; Rolčík, J.; Novák, O.; Palmero, D.V.; Bejai, S.; Meijer, J. Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant. *Planta* **2017**, *245*, pp. 15-30.
21. Rabbee, M.F.; Ali, M.S.; Choi, J.; Hwang, B.S.; Jeong, S.C.; Baek, K.H. *Bacillus velezensis*: a valuable member of bioactive molecules within plant microbiomes. *Molecules* **2019**, *24*(6).
22. Rabbee, F.M.; Baek, K.H. Antimicrobial activities of lipopeptides and polyketides of *Bacillus velezensis* for agricultural applications. *Molecules* **2020**, *25*(21). Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25214973>.
23. Steffen, G.P.K.; Maldaner, J.; Missio, E.L.; Steffen, R.B. *Trichoderma* controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja. *Campos & Negócios* **2018**.
24. Cardoso, F.B.; Martinez, H.E.P.; Silva, D.J.H.D.; Milagres, C.D.C.; Barbosa, J.G. Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. *Pesquisa Agropecuária Tropical* **2018**, *48*, pp. 340-349.
25. Silva, P.C.; Ferreira, A.F.A.; Araújo, E.S.; Bessa Neto, J. V.; Costa, A. R.; Fernandes, L. S.; Martins, A. A. S.; Cândido, R. S.; Jardim, A. M. R. F.; Pandorfi, H.; Silva, M. V. Cherry Tomato Crop Management Under Irrigation Levels: Morphometric Characteristics and Their Relationship with Fruit Production and Quality. *Gesunde Pflanzen* **2023**, *75*, pp. 1277–1288. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00770-8>
26. Zulfiqar, F.; Akram, N.A.; Ashraf, M. Osmoprotection in plants under abiotic stresses: new insights into a classical phenomenon. *Planta* **2020**, *251*, pp. 1-17. Doi: 10.1007/s00425-019-03293-1.
27. Fagundes, C.; Moraes, K.; Pérez-Gago, M.B.; Palou, L.; Maraschin, M.; Monteiro, A.R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology* **2015**, *109*, pp. 73–81. Doi: doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.017.
28. Mellado, J.C.; Lemus, J.O.; Santos, P.E.; Aguilar, L.M. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Applied and environmental microbiology* **2007**, *73*(16), pp. 5308-5319.
29. Olanrewaju, O.S.; Glick, B.R.; Babalola, O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **2017**, *33*, pp. 1-16. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>.
30. Fan, B.; Blom, J.; Klenk, H.P.; Borriss, R. *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus velezensis* and *Bacillus siamensis* form an “operational group *B. amyloliquefaciens*” within the *B. subtilis* species complex. *Frontiers in microbiology* **2017**, *8*. Doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00022>.
31. Luvizotto, D.M.; Marcon, J.; Andreote, F.D.; Andreote, F.D.; Neves, A.A.; Araújo, W.L.; Kleiner, A.A.P. Genetic diversity and plant-growth related features of *Burkholderia* spp. from sugarcane roots. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **2010**, *26*, pp. 1829-1836.
32. Dourado, M.N.; Martins, P.F.; Quecine, M.C.; Piotto, F.A.; Souza, L.A.; Franco, M.R.; Azevedo, R.A. *Burkholderia* sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. *Annals of Applied Biology* **2013**, *163*(3), pp. 494-507. Doi:10.1111/aab.12066
33. Oliveira, H.F.E.; Campos, H.M.; Mesquita, M.; Machado, R.L.; Vale, L.S.R.; Siqueira, A.P.S.; Ferrarezi, R.S. Horticultural performance of greenhouse cherry tomatoes irrigated automatically based on soil moisture sensor readings. *Water* **2021**, *13*(19). <https://doi.org/10.3390/w13192662>
34. Lima, T.P.; Gomes-Filho, R.R.; Cadore, R.; Freitas, D.S.; Carvalho, C.M.; Aguiar-Netto, A.O. Lâminas de irrigação e formas de adubação na produção de tomate de mesa. *Agropecuária Técnica* **2017**, *38*.
35. Lu, J.; Shao, G.; Cui, J.; Wang, X.; Keabetswe, L. Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: A meta-analysis. *Agricultural Water Management* **2019**, *222*, pp. 301-312.
36. Cendales, T.C.; González, C.A.R.; Cuásquer, C.P.V.; Alzate, O.A.T.; Rodríguez, A.H.. *Bacillus* effect on the germination and growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Biológica Colombiana* **2017**, *22*(1), pp. 37-44.
37. Zechin, V.J.S.; Ikeda, A.C.; Móggor, Á.F. Alteraciones bioquímicas y de desarrollo de dos cultivares de tomate bajo la inoculación de diferentes dosis de *Bacillus* spp. *Idesia* **2022**, *40*(1), pp. 59-66.

38. Kumar, P.; Aeron, A.; Shaw, N.; Singh, A.; Bajpai, V.K.; Pant, S.; Dubey, R.C. Seed bio-priming with tri-species consortia of phosphate solubilizing rhizobacteria (PSR) and its effect on plant growth promotion. *Heliyon* **2020**, *6*(12).
39. Sabu, R.; Aswani, R.; Nidheesh, K.S.; Ray, J.G.; Remakanthan, A.; Radhakrishnan, E.K. Beneficial Changes in *Capsicum frutescens* Due to Priming by Plant Probiotic *Burkholderia* spp. *Probiotics and antimicrobial proteins* **2019**, *11*, pp. 519-525.
40. Tallapragada, P.; Dikshit, R.; Seshagiri, S. Isolation and optimization of IAA producing *Burkholderia seminalis* and its effect on seedlings of tomato. *Songklanakar Journal of Science & Technology* **2015**, *37*(5).
41. Tripti, A.; Kumar, Z.; Usmani, V. Biochar and flyash inoculated with plant growth promoting rhizobacteria act as potential biofertilizer for luxuriant growth and yield of tomato plant. *Journal of Environmental Management* **2017**, *190*, pp. 20-27.
42. Asari, S.; Tarkowská, D.; Rolčík, J.; Novák, O.; Palmero, D.V.; Bejai, S.; Meijer, J. Analysis of plant growth-promoting properties of *Bacillus amyloliquefaciens* UCMB5113 using *Arabidopsis thaliana* as host plant. *Planta* **2017**, *245*, pp. 15-30. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2580-9>.
43. Zemanova, V.; Pavlík, M.; Pavlíkova, D.; Hnilicka, F.; Vondrackova, S. Responses to Cd stress in two *Noccaea* species (*Noccaea praecox* and *Noccaea caerulescens*) originating from two contaminated sites in Mežica, Slovenia and Redlschlag, Austria. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **2016**, *70*(3), pp. 464-474. doi: <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0198-8>.
44. Zhang, J.; Wang, P.; Xiao, Q. Cadmium (Cd) chloride affects the nutrient uptake and Cd-resistant bacterium reduces the adsorption of Cd in muskmelon plants. *Open Chemistry* **2020**, *18*, pp. 711-719. doi: <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0500>.
45. Zhang, J.; Xiao, Q.; Wang, P. Phosphate-solubilizing bacterium *Burkholderia* sp. linhagem N3 facilitates the regulation of gene expression and improves tomato seedling growth under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2021**, *217*. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112268
46. Lovelli, S.; Potenza, G.; Castronuovo, D.; Perniola, M.; Candido, V. Yield, quality and water use efficiency of processing tomatoes produced under different irrigation regimes in Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy* **2017**, *12*(1).
47. Zheng, F.; Yang, P.; Ren, S.; Jiang, G.; He, X. Effect of regulated deficit irrigation on the plant growth, yield and quality of processing tomato under border irrigation in Hetao Irrigation District. *China Agricultural University* **2016**, *21*, pp. 83-90.
48. Kumar, P.S.; Singh, Y.; Nangare, D.D.; Bhagat, K.; Kumar, M.; Taware, P.B.; Minhas, P.S. Influence of growth stage specific water stress on the yield, physico-chemical quality and functional characteristics of tomato grown in shallow basaltic soils. *Scientia Horticulturae* **2015**, *197*, pp. 261-271.
49. Aini, N.; Dwi Yamika, W.S.; Pahlevi, R.W. The effect of nutrient concentration and inoculation of PGPR and AMF on the yield and fruit quality of hydroponic cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. cerasiforme). *Journal of Applied Horticulture* **2019**, *21*(2).
50. Osa, C.; Carvajal, M.Á.R.; Gandullo, J.; Aranda, C.; Megías, M.; Ollero, F.J.; Monreal, J.A. Plant growth-promoting rhizobacteria modulate the concentration of bioactive compounds in tomato fruits. *Separations* **2021**, *8*(11).
51. Klunklin, W.; Savage, G. Effect on quality characteristics of tomatoes grown under well-watered and drought stress conditions. *Foods* **2017**, *6*(8). doi: <https://doi.org/10.3390/foods6080056>.
52. Gonzalez-Chavira, M.M.; Hernandez, M.G.H.; Maldonado, H.G.; PonsHernandez, J.L. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. *Scientia Horticulturae* **2018**, *234*, pp. 354-360. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.049>.
53. Silva, C.J.; Pontes, N.C.; Golynski, A.; Braga, M.B.; Duval, A.M.Q.; Silva, N.E. Performance of processing tomatoes under different supply levels of crop evapotranspiration. *Horticultura Brasileira* **2018**, *36*, pp. 299-305.
54. Distefano, M.; Steingass, C.B.; Leonardi, C.; Giuffrida, F.; Schweiggert, R.; Mauro, R.P. Effects of a plant-derived biostimulant application on quality and functional traits of greenhouse cherry tomato cultivars. *Food Research International* **2022**, *157*.
55. Balderas-Ruiz, K.A.; Gómez-Guerrero, C.I.; Trujillo-Roldán, M.A.; Valdez-Cruz, N.A. Aranda-Ocampo, S.; Juárez, A.M.; Serrano-Carreón, L. *Bacillus velezensis* 83 increases productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Pre and postharvest assessment. *Current Research in Microbial Sciences* **2021**, *2*.
56. Lucas, J.A.; Villaraco, A.G.; Palmero, M.B.M.; Montalban, B.; Solano, B.R.; Mañero, F.J.G. Physiological and Genetic Modifications Induced by Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Tomato Plants under Moderate Water Stress. *Biology* **2023**, *12*(7).
57. Tardieu, F.; Simonneau, T.; Muller, B. The Physiological Basis of Drought Tolerance in Crop Plants: A Scenario-Dependent Probabilistic Approach. *Annual Review of Plant Biology* **2018**, *69*(1), pp. 733-759. Doi: [doi:10.1146/annurev-arplant-042817-040218](https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040218).

58. Mutari, B.; Sibiyi, J.; Matova, P.M.; Gasura, E.; Simango, K. Drought stress impact on agronomic, shoot, physiological, canning and nutritional quality traits of navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under field conditions in Zimbabwe. *Field Crops Research* **2023**, 292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108826>.
59. Jardim, A.M.R.F.; Silva, T.G.F.; Souza, L.S.B.; Souza, M.S.; Morais, J.E.F.; Júnior, A.G.N. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2020**, 24, pp. 756-761. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p756-761>
60. Jardim, A.M.R.F.; Silva, M.V.; Silva, A.R.; Santos, A.; Pandorfi, H.; Oliveira-Júnior, J.F.; Lima, J.L.M.P.; Souza, L.S.B.; Araújo Júnior, G.N.; Lopes, P.M.O.; Moura, G.B.A.; Silva, T.G.F. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **2021**, 223, pp. 1–11. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105733>.
61. Rapa, M.; Ciano, S.; Ruggieri, R.; Vinci, G. Bioactive compounds in cherry tomatoes (*Solanum Lycopersicum* var. Cerasiforme): cultivation techniques classification by multivariate analysis. **2021**, 355. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129630>.
62. Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* **2007**, 11(3), pp. 1633–1644.
63. Romero, R.S. *Bactérias fitopatogênicas*, 2nd ed.; Publisher UFV: Viçosa-MG, Brazil, 2005.
64. Araújo, W.L.; Maccheroni Junior, W.; Aguilarvildoso, C.I.; Barroso, P.A.V.; Saridakis, H.O.; Azevedo, J.L. Variability and interactions between endophytic bacteria and fungi isolated from leaf tissues of citrus rootstocks. *Canadian Journal of Microbiology* **2001**, 47, pp. 229-236.
65. Casaroli, D.; Jong van Lier, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* **2008**, 32, pp. 59–66.
66. Agbna, G.H.; Dongli, S.; Zhipeng, L.; Elshaikh, N.A.; Guangcheng, S.; Timm, L.C. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae* **2017**, 222, pp. 90-101. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>
67. Borges, B.M.M.N.; Modesto, V.C.; Prado, R.M.; Silva, E.S.; Braos, B.B. Métodos de determinação da matéria seca e dos teores de macronutrientes em folhas de alface. *Revista Trópica* **2011**, 5, pp. 12-16.
68. AOAC. *Official Method of Analysis*, 15th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington DC, USA, 1998.
69. Wellburn, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology* **1994**, 144(3), pp. 307-313.
70. Smart, R.E.; Bingham, G.E. Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiology* **1974**, 53, pp. 258-260.
71. Kaiser, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* **1958**, 23, pp. 187–200. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02289233>.
72. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019. <https://www.R-project.org/>.
73. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. <https://www.R-project.org/>.

5. CONCLUSÃO GERAL

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 promove o aumento da taxa de germinação e o índice de velocidade de emergência.

Estas cepas trazem incrementos significativos para massa fresca e seca das plantas, bem como no comprimento e no volume da raiz. *Bacillus subtilis* ATCC 23858 já mostrou efeitos aos 15 DAS para comprimento da raiz e MSR. Esse efeito foi mantido ao longo de todo o experimento. *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 teve um efeito mais tardio, aos 30 DAS.

A produtividade do tomate cereja, assim como a qualidade dos frutos, foram melhoradas com a inoculação de *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3, em relação às plantas sem inoculação.

A inoculação com *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 aumentou teores de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz. Além disso, aumentou o volume de raiz das plantas. Já a inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 aumentou os teores de carotenoides e de clorofila b. Contudo, ambas as inoculações aumentaram o conteúdo hídrico foliar nas plantas com déficit hídrico mais acentuado (40% da ETc).

O uso das cepas *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 como bactérias promotoras de crescimento de plantas não afetou a qualidade de frutos, nas condições deste estudo, exceto pelo teor de sólidos solúveis (°BRIX).

Os maiores níveis de reposição hídrica (80 e 100% da ETc) promoveram maior produtividade, reduzindo a produtividade conforme irrigação deficitária.

A inoculação com *Bacillus subtilis* ATCC 23858 e *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3 auxiliou as plantas de tomate cereja em condições de déficit hídrico.

Os resultados deste estudo demonstraram que ambas as BPCP utilizadas possuem potencial biotecnológico para serem utilizadas como bioinoculantes na cultura do tomate cereja, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e economicamente viável.