

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**MICROORGANISMOS NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE
FEIJÃO-CAUPI E MARACUJAZEIRO E NO CONTROLE DE
FUSARIOSE**

Caliane da Silva Braulio

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO 2023**

MICROORGANISMOS NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE FEIJÃO-CAUPI E MARACUJAZEIRO E NO CONTROLE DE FUSARIOSE

Caliane da Silva Braulio
Agroecóloga, UFRB, 2017
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, UFRB, 2019

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Tropical.

Orientador: Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
Coorientador: Dr. Fernando Haddad
Coorientador: Prof. Dr. Carlos A. Dórea Bragança
Coorientador: Leandro de Souza Rocha

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO 2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

B825p	<p data-bbox="512 801 1273 952">Braulio, Caliane da Silva. Microorganismos na promoção de crescimento de feijão-caupi e maracujazeiro e no controle de fusariose / Caliane da Silva Braulio._ Cruz das Almas, BA, 2023. 142f.; il.</p> <p data-bbox="512 987 1273 1070">Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.</p> <p data-bbox="564 1106 1273 1227">Orientadora: Prof. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega. Coorientador: Prof. Dr. Fernando Haddad. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Dórea Bragança. Coorientador: Dr. Leandro de Souza Rocha.</p> <p data-bbox="512 1263 1273 1384">1.Plantas – Crescimento – Doenças e pragas. 2.Plantas – Feijão-de-corda – Maracujá. 3.Análise – Controle biológico. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p data-bbox="1031 1411 1187 1435">CDD: 632.96</p>
-------	---


Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**


**MICROORGANISMOS NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE
FEIJÃO-CAUPI E MARACUJAZEIRO E NO CONTROLE DE
FUSARIOSE**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Caliane da Silva Braulio


Aprovada em 26 de julho de 2023

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA SIMÃO ABRAHÃO NOBREGA**
Data: 04/09/2023 20:16:01-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ALBERTO DA SILVA LEDO**
Data: 05/09/2023 14:18:42-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
Examinadora Interna

Documento assinado digitalmente
 **FATIMA MARIA DE SOUZA MOREIRA**
Data: 06/09/2023 07:49:40-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Fátima Maria de Sousa Moreira
Universidade Federal de Lavras – UFLA
Examinadora Externa

Documento assinado digitalmente
 **JAQUELINE DALLA ROSA**
Data: 11/09/2023 08:47:13-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Jaqueline Dalla Rosa
Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB
Examinadora Externa

Documento assinado digitalmente
 **RENATA SILVA MANN**
Data: 14/09/2023 16:01:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Renata Silva Mann
Universidade Federal de Sergipe – UFS

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo apoio, confiança e amor. As minhas irmãs, meus sobrinhos e a toda minha família. Aos meus verdadeiros amigos. A todos os produtores rurais do Brasil, em especial os Nordestinos, com o intuito de poder contribuir para o crescimento do setor agrícola, para que seja economicamente viável, ecologicamente sustentável e socialmente justo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ser meu porto seguro, nos momentos mais difíceis na trajetória do Doutorado, por ser meu refúgio e fortaleza. Minha fé, não me permitiu desistir. Na angústia meu coração sempre dizia: Espere no Senhor. Seja forte! Coragem! Espere no Senhor (Salmos 27:14). Por isso não tema, pois estou com você; não tenha medo, pois sou o seu Deus. Eu o fortalecerei e o ajudarei; Eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa (Isaías 41:10).

Aos meus pais por todo apoio nos momentos difíceis, pela educação e conselhos ofertados, sempre com muito amor e atenção.

As minhas irmãs Caroline Braulio e Eliane Braulio pela força e companheirismo e amizade em todas as horas.

Aos meus sobrinhos Miguel Braulio e Henrique Gabriel Braulio por serem carinhosos e compreensíveis.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pelo espaço de ensino e pela possibilidade do aperfeiçoamento profissional.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, pela enriquecedora experiência acadêmica e profissional.

A toda equipe do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, técnicos, estagiários e pesquisadores. Em especial a Dra. Flávia Moreira, Dr. Leandro Rocha, Sr. Sinésio e Sr. João.

A toda equipe do Laboratório de Biologia do Solo - UFRB, especialmente a Ewerton e Andreza pelo apoio nas análises laboratoriais.

Ao Laboratório de Virologia e ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em especial a Cícera Maria do Amaral.

Ao Laboratório de Fitoquímica - UFRB

Ao Laboratório de Drenagem Agrícola e Salinidade- NEAS-UFRB

Aos membros do Laboratório de Biologia do Solo - UFRB.

Aos meus colegas de turma 2019.2.

Aos meus amigos, que sempre se fazem presentes em diversos momentos da vida, em especial Bruno Louzado, João Vieira, Gilson Nazaré, Ângela Cavalcante, Janildes Silva, Andreza Correia, Elisângela Gonçalves, Cheila Bonati, Audrey Ferreira, Elielson Santana.

Aos meus colegas Claudemir Santos, Cyndi Pinho e Larissa Machado pela parceria no desenvolvimento do experimento.

A professora Ana Cristina Fermino Soares pelo apoio.

A professora Ana Cristina Vello Loyola Dantes pela concessão da casa de vegetação para o desenvolvimento dos experimentos.

Aos membros da banca examinadora, pelas valiosas contribuições para o enriquecimento do meu trabalho.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega que esteve comigo desde a graduação, pelo conhecimento passado, paciência e suporte, durante todo esse processo, confiança e incentivos para minha vida profissional. Eterna Gratidão!!!

Aos meus coorientadores Dr. Fernando Haddad, Prof. Dr. Carlos Bragança e Dr. Leandro Rocha.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

Superior (CAPES) (Código de Financiamento 001) pelo aporte financeiro fundamental para o desenvolvimento do projeto.

Gratidão a todos!!!

EPIGRAFE

Será que você não sabe? Nunca ouviu falar? O Senhor é o Deus eterno, o Criador de toda a terra. Ele não se cansa nem fica exausto, sua sabedoria é insondável. Ele fortalece ao cansado e dá grande vigor ao que está sem forças. Até os jovens se cansam e ficam exaustos, e os moços tropeçam e caem; mas aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam bem alto como águias; correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam (Isaías 40:28-31).

MICRORGANISMOS NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE FEIJÃO-CAUPI E MARACUJAZEIRO E NO CONTROLE DE FUSARIOSE

RESUMO GERAL

A utilização de espécies de microrganismos benéficos que atuam na promoção de crescimento de plantas, no aumento da produtividade e no controle biológico de pragas e doenças, pode ser uma estratégia sustentável, que viabilize a produção agrícola. Quando associadas ao fertilizante orgânico e ao pó de rocha, pode potencializar o plantio de mudas de qualidade e influenciar na resistência da planta a desfolha e à fusariose, contribuindo na redução do uso de defensivos químicos, custos de produção e impacto ambiental. Nesse contexto, objetivou-se, avaliar o potencial biológico de microrganismos benéficos na promoção de crescimento de plantas, produtividade e manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. A produtividade média do feijão-caupi inoculado com INPA 03-11B é reduzida a partir de 50% de desfolha artificial. Os isolados UFRB FA72A2-1, UFRB FA34C2-2 e UFRB NA32B1, produzem enzimas extracelulares. A inoculação com a estirpe UFLA 03-84 e o substrato solo + fertilizante orgânico + pó de rocha silicatada, apresentaram maior potencial para o crescimento, Índice de Qualidade de DICKSON e nutrição de mudas de maracujazeiro. As estirpes de *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum* e os isolados UFRB FA72A2-1 e UFRB FA34C2-2 produzem metabólitos que interferem no crescimento dos isolados de *F. oxysporum*. O isolado de *Fusarium* (CMF3115) foi mais agressivo aos microrganismos antagonistas, *in vitro*. Mudas de maracujazeiro cultivadas com pó de rocha silicatada e inoculadas com *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum*, são resistentes a morte precoce ocasionada pela fusariose, com maior redução dos sintomas externos e internos e da severidade da doença.

Palavras-chave: Biocontrole, crescimento vegetal, geoestatística, nutrição, resistência induzida.

MICRO-ORGANISMS IN THE GROWTH PROMOTION OF COWPEA AND PASSION FRUIT AND IN THE CONTROL OF FUSARIASIS

GENERAL ABSTRACT

The use of species of beneficial microorganisms that act to promote plant growth, increase productivity and biological control of pests and diseases can be a sustainable strategy that makes agricultural production possible. And when associated with organic fertilizer and rock dust, it can enhance the planting of quality seedlings and influence the plant's resistance to defoliation and fusariosis and thus contribute to reducing the use of chemical pesticides, production costs and environmental impact. In this context, the objective was to evaluate the biological potential of beneficial microorganisms in promoting plant growth, productivity and management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. The average productivity of cowpea inoculated with INPA 03-11B is reduced from 50% of artificial defoliation. *Bacillus proteolyticus*, *Achromobacter spanius* and UFRB NA32B1 isolates produce extracellular enzymes. Inoculation with the *Bradyrhizobium viridifuturi* strain and the substrate consisting of soil + organic fertilizer + silicate rock powder, showed greater potential for growth, DICKSON Quality Index and nutrition of passion fruit seedlings. *Bacillus* sp., *Bradyrhizobium viridifuturi* and *Trichoderma asperellum* strains and *Bacillus proteolyticus* and *Achromobacter spanius* isolates produce metabolites that interfere with the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. The *Fusarium* isolate (CMF3115) was more aggressive to antagonist microorganisms, *in vitro*. Passion fruit seedlings cultivated with silicate rock powder and inoculated with *Bacillus* sp., *Bradyrhizobium viridifuturi* and *Trichoderma asperellum*, proved to be resistant to early death caused by fusariosis, showing a greater reduction in external and internal symptoms and disease severity.

Key-words: Biocontrol, geostatistics, induced resistance, nutrition, plant growth.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Estatística descritiva de variáveis de produção número de grãos por planta (NGP) e produtividade média (PHA) do feijão caupi em função das fontes de nitrogênio e as porcentagens de desfolha.....55

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis comprimento médio da vagem (CMV), número de vagem por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) em função das porcentagens de desfolha.....56

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis comprimento médio da vagem (CMV) e número de vagem por planta (NVP) em função das fontes de nitrogênio.....56

Tabela 4. Parâmetros dos modelos geoestatísticos selecionados para Comprimento médio de vagem (CMV); Número de grãos por vagem (NGV); Número de vagem por planta (NVP); Número de grãos por planta (NGP); Produtividade média (PHA) do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob desfolha artificial..... 57

CAPITULO 2

Tabela 1. Características bioquímicas e fisiológicas de bactérias diazotróficas.....76

Tabela 2. Médias da pH do meio de cultura sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas e pó de rocha.....77

Tabela 3. Médias da pH do meio de cultura sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas em diferentes intervalos de avaliação..... 77

Tabela 4. Médias da condutividade elétrica (CE) do meio de cultura sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas e do pó de rocha em diferentes intervalos de avaliação.....78

Tabela 5. Concentração de sódio (Na⁺) disponível no meio de cultura líquido com e sem pó de rocha sobre efeito da inoculação com bactérias diazotróficas.....79

Tabela 6. Concentração de potássio (K⁺) disponível no meio de cultura líquido sobre efeito da inoculação com bactérias diazotróficas e na presença do pó de rocha.....80

Tabela 7. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do o substrato de cultivo e fontes de N, aos 60 dias após a semeadura.....81

Tabela 8. Médias de diâmetro do caule na parte área de *Passiflora edulis* Sims sob efeitos individuais da inoculação (Fontes de N) e dos substratos de cultivos aos 60 dias após a semeadura84

Tabela 9. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do substrato de cultivo e inoculação com bactérias diazotróficas, aos 90 dias após a semeadura.....85

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Atividades antifúngicas entre os MPCP e isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* CMF3115 e CMF3116 *in vitro*.....110

Tabela 2. Severidade de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* em *Passiflora edulis* Sims em função da inoculação com os microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e complementação com silício.....117

Tabela 3. Médias das variáveis de crescimentos *Passiflora edulis* Sims submetidas a infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* posterior associação microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício [exp 1]120

Tabela 4. Efeito isolado dos fatores microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e silício sobre os teores de clorofila total, comprimento e volume da raiz, e massa seca da parte área de *Passiflora edulis* Sims submetidas a infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) [exp 1]121

Tabela 5. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims submetidas a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício previamente à infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* [exp 2]122

Tabela 6. Clorofila total de *Passiflora edulis* Sims submetidas a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício previamente à infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* [exp 2] .123

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Percentagens de desfolha do feijão-caupi aos 45 dias após a semeadura, estágio fenológico R2.....53
- Figura 2.** Distribuição espacial, em metros do comprimento médio das vagens (cm planta⁻¹) de feijão-caupi..... 58
- Figura 3.** Distribuição espacial, em metros do número de grãos por vagens (grãos vagens⁻¹) de feijão-caupi..... 59
- Figura 4.** Distribuição espacial, em metros do número de vagens por planta (vagens planta⁻¹) de feijão-caupi.....59
- Figura 5.** Distribuição espacial, em metros do número de grãos por planta (grãos planta⁻¹) de feijão-caupi60
- Figura 6.** Distribuição espacial, em metros da produtividade (kg ha⁻¹) de feijão-caupi61

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Cladograma inferido por Máxima Verossimilhança abrangendo todas as sequências de 16S rDNA de espécies tipo de *Achromobacter* (Figura 1 A) e de *Bacillus* (Figura 1 C) e árvore filogenética inferida por ML abrangendo todas as sequências de 16S rDNA de espécies tipo de *Achromobacter* (Figura 1B) e *Bacillus* (Figura 1)71

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Inibição do crescimento por *Bacillus* sp. (A); *Bradyrhizobium viridifuturi* (B); e *Trichoderma asperellum* (C) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115. Tratamentos controle com apenas o fitopatógeno CMF3115 para bactérias (D) e para o *Trichoderma asperellum* (E). Inibição do crescimento por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Bacillus proteolyticus* (C) e *Trichoderma asperellum* (D) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3116, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamentos controle com apenas o fitopatógeno CMF3116 para bactérias (E) e para o *Trichoderma asperellum* (F)111
- Figura 2.** Efeito de compostos voláteis produzidos por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Achromobacter spanius* (C), *Bacillus proteolyticus* (D); *Trichoderma asperellum* (E) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115 e CMF3116, respectivamente, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamento controle contendo apenas o fitopatógeno (F).....112

Figura 3. Efeito de compostos difusíveis produzidos por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Trichoderma asperellum* (C) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115; Controle sem inoculação, contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 (D). E por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Bacillus proteolyticus* (C); *Trichoderma asperellum* (D) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3116, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamento controle contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 e 3116, respectivamente (E) 113

Figura 4. Efeito de compostos difusíveis produzidos por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Trichoderma asperellum* (C) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115; Controle sem inoculação, contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 (D). E por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (B), *Bacillus proteolyticus* (C); *Trichoderma asperellum* (D) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3116, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamento controle contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 e 3116, respectivamente (E)114

Figura 5. Sintomas externos de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) ocasionada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) inoculados com microrganismos promotores de crescimento de planta na ausência e presença de pó de rocha silicatada que apresentaram melhores resultados nos experimentos 1[exp 1] e 2 [exp 2]115

Figura 6. Sintomas internos no caule e raiz de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) ocasionada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) inoculados com microrganismos promotores de crescimento de planta na ausência e presença de pó de rocha silicatada que apresentaram melhores resultados nos experimentos 1[exp 1] e 2 [exp 2]117

Figura 7. Isolamento do fragmento do caule de *Passiflora edulis* com sintomas típicos do *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) do primeiro e segundo experimento, respectivamente com *Bradyrhizobium viridifuturi* com [Si+] (A) e sem [Si-] (B); *Achromobacter spanius* com [Si+] (C) e sem [Si-] (D); *Bacillus proteolyticus* com [Si+] (E) e sem [Si-] (F); *Bacillus* sp. com [Si+] (G) e sem [Si-] (H); *Trichoderma asperellum* com [Si=] (I) e sem [Si-] (J); e do controle sem inoculação com [Si+] (K) e sem [Si-] (L).....119

Figura 8. Heatmap das variáveis de *Passiflora edulis* Sims infestadas com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) sob efeito da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de planta e a complementação com Si, no primeiro [exp 1] (A) e segundo [exp 2] (B) experimentos. CLA: clorofila a, CLB: clorofila b, CLT: clorofila total, MSPA: massa seca da parte aérea, MSR: massa seca da raiz, MST: massa seca total, VOL: volume da raiz, DR: diâmetro da raiz, CR: comprimento da raiz, acúmulos de N, P e K, SINTE: Sintomas externos, SINTI: sintomas internos e SERV: severidade da doença.....124

Figura 9. Mapa de fatores dos grupos de tratamentos formados com base nas variáveis e gráficos com as setas representando as contribuições de cada variável na análise de PCA no experimento 1 (Figura 7 A e B) e experimento 2 (Figura 7B e C125

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Feijão-caupi e a aplicação do georefenciamento em sua produtividade sob o efeito da inoculação e desfolha artificial.....	18
2.2	Família Passifloraceae, gênero <i>Passiflora</i> e sua importância econômica.....	19
2.3	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i> no maracujazeiro.....	20
2.3.1	Infecção fúngica e estratégias de colonização.....	22
2.4	Atuação dos microrganismos promotores de crescimento de plantas no controle biológico.....	24
2.4.1	Indução de resistência.....	26
2.4.2	Enzimas marcadoras de indução de resistência.....	27
2.5	Uso de rochagem na agricultura.....	29
2.6	Uso da adubação orgânica.....	32
3.0	REFERÊNCIAS.....	34
	CAPÍTULO 1 – Variabilidade espacial da produtividade do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob desfolha artificial.....	48
	RESUMO.....	49
	ABSTRACT.....	50
1.	INTRODUÇÃO.....	51
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.	CONCLUSÕES.....	62
5.	REFERÊNCIAS.....	63
	CAPÍTULO 2 – Cultivo de <i>Passiflora edulis</i> Sims inoculado com bactérias diazotróficas em substratos organominerais.....	66
	RESUMO.....	67
	ABSTRACT.....	78
1.	INTRODUÇÃO.....	69
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
2.1	Caracterização bioquímica e genética das estipes.....	70
2.2	Avaliação da solubilização de pó de rocha por bactérias diazotróficas.....	72
2.3	Habilidade de bactérias diazotróficas em colonizar o sistema radicular de plântulas de maracujazeiro.....	72
2.4	Arranjo experimental e condições de cultivo	73
2.4.1	Características morfofisiológicas e nutricionais.....	75
2.5	Análise estatística.....	76
3.	RESULTADOS	75
4.	DISCUSSÃO.....	87
5.	CONCLUSÕES.....	92
6.	REFERÊNCIAS.....	93
	CAPÍTULO 3 – Mudanças de maracujazeiro podem ser beneficiadas por microrganismos promotores de crescimento e silício quando infectadas por <i>Fusarium Oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i>?.....	99
	RESUMO.....	100

	ABSTRACT.....	101
1.	INTRODUÇÃO.....	102
2.	METODOLOGIA.....	103
2.1	Arranjo experimental.....	103
2.2	Caracterização e preparo dos inóculos de MPCP.....	105
2.3	Seleção e multiplicação de isolados de <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i> ..	106
2.4	Atividade antagonista <i>in vitro</i> dos MPCP sobre o <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i>	106
2.5	Produção de mudas e inoculação com MPCP e infestação com o <i>Fusarium</i>	108
2.6	Inoculação conjunta <i>in vivo</i> de MPCP e Si sobre <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>passiflorae</i>	108
2.7	Análise estatística.....	109
3.	RESULTADOS .	110
4.	DISCUSSÃO.....	126
5.	CONCLUSÕES.....	132
6.	REFERÊNCIAS.....	132

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos maiores consumidores de produtos fitossanitários do mundo, para assegurar maior oferta de alimentos no mercado, sendo o inseticida e o fungicida, os produtos utilizados em maior escala. Porém os agentes químicos que auxiliam no controle de pragas e doenças, causam danos ao meio ambiente e quando não utilizados dentro das recomendações técnicas de manuseio podem proporcionar riscos à saúde do produtor (CAMPOS et al., 2021; MONQUERO; INÁCIO; SILVA, 2021; SIMON et al., 2022).

Fatores nutricionais e fitossanitários estão entre as principais limitações da produção agrícola. O feijão-caupi quando atacado por insetos desfolhadores, tem sua produtividade comprometida, devido a redução da área foliar que limita a sua capacidade fotossintética (LIMA-PRIMO et al., 2019; BRAULIO et al., 2021). O maracujazeiro é acometido por muitas doenças causadas por patógenos do solo economicamente importantes, como o *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) (SANTANA et al., 2018; MELO et al., 2020; CARVALHO et al., 2021), que diminuem o rendimento da cultura em várias regiões produtoras do Brasil, quando não controlado adequadamente.

O uso de microrganismos promotores de crescimento de planta (MPCP) no biocontrole, tem proporcionado um avanço significativo na redução do uso de defensivos agrícolas e fertilizantes sintéticos, uma vez que, podem interferir na sobrevivência ou em atividades determinantes para a ocorrência de praga (BRAULIO et al., 2021). E atuam no controle de doença, por serem capazes de inibir o crescimento de fitopatógenos no solo, através de mecanismos como, antibiose, produção de sideróforos, indução de resistência, mineralização de fosfatos, fixação de nitrogênio e reguladores de crescimento (THAKKER et al., 2013; LAZAROVITS et al., 2014; KIM et al., 2015; OLANREWAJU et al., 2017; BOLÍVAR-ANILLO et al., 2019; LOPES et al., 2021a; ESLAHI et al., 2022).

O uso de técnicas de estatísticas associadas à geoestatística tem favorecido a interpretação e abordagens eficientes das informações fitotécnicas em Ciências Agrárias, por considerar simultaneamente a variação espacial de um elevado número de variáveis que influenciam os sistemas de produção agrícola (SILVA et al., 2010b). Proporcionando redução do custo de produção (SILVA et al., 2015; GONZÁLES, LISKA e HUMADA, 2021).

Os microrganismos podem potencializar os efeitos benéficos da adubação orgânica na planta, proporcionando acúmulo de carbono orgânico no solo, biomassa microbiana e disponibilidade de nutrientes (OMER et al., 2016; SETHI et al.; 2021). O pó de rocha e a adubação orgânica, quando aplicados no substrato de cultivo, podem promover melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo, e assim, suprir a demanda nutricional das plantas (PRATES et al., 2010; MUDALY e VAN DER LAAN 2020; SANTOS et al., 2021; SETHI et al., 2021). Além disso, o pó de rocha pode promover resistência a doenças, principalmente quando como fonte de silício (GUO-CHAO et al., 2018; ARAÚJO et al., 2022). O uso de microrganismos tem contribuído no aumento da solubilização de nutrientes provenientes de rochas moídas e adubação orgânica (LOPES et al., 2014c; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2021; LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2015).

Uma das principais causas da perda da produtividade do maracujazeiro no Brasil, é a fusariose ocasionada pelo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop), que resulta em sintomas em todo ciclo, responsável por causar murcha vascular e descoloração no tecido vegetal (MELO et al., 2020; CARVALHO et al., 2021; PIRES et al., 2022).

A utilização de espécies de microrganismos benéficos que atuem na promoção de crescimento de planta, no aumento da produtividade e no controle biológico de pragas e doenças, pode ser uma estratégia sustentável para a produção agrícola e quando associada ao fertilizante orgânico e ao pó de rocha, pode viabilizar o plantio de mudas de qualidades e influenciar na resistência à fusariose. Desta forma pode contribuir para redução do uso de insumos químicos, custos de produção e impacto ambiental. Diante disso, para avaliar o potencial biológico de microrganismos promotores de crescimento na produtividade de plantas e no manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, este trabalho teve como objetivos: 1- Analisar a variabilidade espacial da produtividade em campo do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob o efeito da desfolha artificial; 2- Avaliar o efeito da inoculação com bactérias diazotróficas associada aos substratos organominerais no cultivo de maracujazeiro e 3- Avaliar a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas e silício no biocontrole de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* em mudas de maracujá.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Feijão-caupi e a aplicação da geoestatística na avaliação da produtividade sob o efeito da inoculação e desfolha artificial

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é originado da África, pertence ao gênero *Vigna* e da família Fabaceae. É uma das fontes alimentares mais importantes para as regiões tropicais e subtropicais do mundo, devido ao seu potencial nutricional. Na região Norte e Nordeste do Brasil, a sua produção é intensificada e tem importância socioeconômica e alimentar para as populações (TORRES et al., 2015). Além de apresentar boa adaptabilidade a condições edáficas e em solos com baixa fertilidade (GONÇALVES et al., 2016).

A desfolha ocasionada pelos insetos desfolhadores está diretamente relacionada com a redução da taxa fotossintética da planta, e com a redução no fornecimento de fotossintetizados (fonte), há redução da taxa de fixação de nitrogênio (HUNGRIA; NEVE, 1987), que conseqüentemente reduz o número e a massa seca de grãos (EGLI, 2010; PROULX; NAEVE, 2009). A nutrição adequada das plantas as torna mais resistentes a desfolha por suprir a perda das folhas com a produção de novas folhas regularmente (CORDEIRO; MATOS; MEISSNER FILHO, 2004). A inoculação com bactérias diazotróficas torna as plantas de feijão-caupi resistentes à desfolha e contribui para o aumento do teor de nutrientes dos grãos (BRAULIO et al., 2021).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) fornece N para o feijão-caupi através de bacteroides simbióticos presentes nos nódulos, que em troca recebem fotossintatos da planta (CHIDEBE et al., 2018). O nódulo, é o órgão especializado que apresenta características distintas dessa simbiose, após uma série de trocas moleculares e modificações morfológicas nos dois parceiros (BERRADA; FIKRI-BENBRAHIM, 2014). Essa relação simbiótica pode ser afetada pela desfolha, pois, a redução da área foliar limita a disponibilidade de carbono (C), que é fundamental para a FBN (SILVA et al., 2010a) e que contribui para a formação e funcionamento dos nódulos (LUCA; HUNGRIA, 2014).

Os insumos agrícolas, como os inseticidas têm apresentado altos custos e com isso, a adoção de técnicas de cultivos mais acessíveis, que demande menor custo de produção e no manejo das culturas anuais, é necessária. Assim, estudos com o mapeamento das áreas referente ao manejo fitossanitário e variáveis de fertilidade do solo pode contribuir na otimização da fertilidade do solo e

consequentemente reduzir o custo de produção, uma vez, que o produtor irá gerenciar melhor a produção agrícola (DALCHIAVON et al., 2011), e assim, contribuir para o crescimento e aumento da produtividade da cultura (JOHANN et al., 2010; SANTOS et al., 2021). Entretanto, esses estudos na cultura do feijão-caupi ainda são escassos no Brasil, apesar da sua importância econômica.

A geoestatística tem possibilitado a eficiência no manejo nutricional e fitossanitário de culturas como o feijão-caupi, através da identificação de zonas específicas de maior e menor produção, considerando simultaneamente a variação espacial de variáveis que influenciam na produção, como por exemplo: número de vagens e grãos por planta, produção por planta e produtividade média, proporcionando uma redução do custo de produção (SILVA et al., 2015; GONZÁLES; LISKA; HUMADA, 2021). Assim como para verificação de similaridades ou diferenças na variabilidade da produtividade, com base nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo da área estudada (SILVA et al., 2015; SANTOS et al., 2021; SOUZA et al., 2021). Com isso pode haver redução do custo de produção, já que é possível manejar a área agrícola de forma individualizada limitando as áreas com necessidades comuns a receberem o mesmo, tornando o uso de adubação e controle fitossanitários mais eficientes.

2.2 Família *Passifloraceae*, gênero *Passiflora* e sua importância econômica

O maracujá é originário da América tropical e subtropical, pertencente ao gênero *Passiflora*, sendo este o mais importante da família *Passifloraceae* e com maior número de espécies cultivadas (CARVALHO et al., 2021). Essa família contempla 630 espécies e 18 gêneros e abrange plantas trepadeiras herbáceas ou lenhosas (CARVALHO-OKANO; VIEIRA, 2001). No Brasil, os gêneros mais cultivados e que se adaptam melhor às regiões do país são, *Passiflora edulis* Sims (maracujá amarelo) e *Passiflora alata* (maracujá doce) (BERNACCI et al., 2008; SOUZA, 2011). Sendo, a *Passiflora edulis* a espécie mais cultivada (ESASHIKA et al., 2018; CARVALHO et al., 2021).

O Brasil possui a maior diversidade de passifloráceas do mundo, sendo um dos maiores centros de variabilidade genética do gênero, com mais de 150 espécies nativas em que, 60 dessas produzem frutos que podem ser aproveitados direta ou

indiretamente como alimento (FERNANDES et al., 2015; SANTANA et al., 2018). O país se destaca como maior produtor e maior consumidor da espécie *P. edulis*, cultivada em mais de 90% dos pomares brasileiros (ESASHIKA et al., 2018; CARVALHO et al., 2021), principalmente pela qualidade da sua polpa, produtividade, vigor e rendimento de suco (CAVALCANTE et al., 2019).

O maracujá-amarelo (*P. edulis*) tornou-se uma espécie de importância econômica dentre as frutas tropicais, devido à elevada cotação do seu suco no mercado internacional e da fruta fresca no mercado interno, sendo um dos principais representantes da fruticultura brasileira, com destaque no setor em exportações e consumo interno (SANTANA et al., 2018).

A produção de qualidade do maracujazeiro, resulta em frutos ricos em vitaminas (A e C), altas concentrações de açúcar, sais minerais, flavonoides (SUÁREZ et al., 2021) e propriedades farmacológicas e terapêuticas (CAVALCANTE et al., 2012). Em 2021 a produção foi de 683.993 toneladas, sendo a Bahia o maior produtor, com produção de 207.488 t (IBGE, 2021).

O uso do maracujá é muito variado, sendo cultivado para fins ornamentais devido as flores coloridas levemente perfumadas e atraentes (AIELLO et al., 2021). Para fins medicinais por produzir substância denominada passiflorine, que funciona como calmante natural (SUÁREZ et al., 2021). Suas folhas apresentam propriedades farmacológicas como antioxidantes, anti-inflamatórias, analgésicas, antiasmáticas e sedativas (RAMAIYA et al., 2019). E para fins alimentícios pode ser consumido *in natura* ou na forma de suco, seu principal produto.

A produção do maracujá, possibilita rápido retorno econômico aos produtores de agricultura familiar por ser um fruto bastante requisitado pelas indústrias de sucos e polpa de frutas (VIEIRA et al., 2020a; VIEIRA et al., 2020b), e por produzir em curto prazo, possibilita retorno rápido do capital, alcançando bons índices de distribuição de renda ao longo do ano, com alto poder comercial de fruta fresca (ARAÚJO et al., 2013; CAVALCANTE et al., 2012).

2.3 *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* no maracujazeiro

Uma das principais causas da perda da produtividade do maracujazeiro no Brasil, é a fusariose com sintomas em todo ciclo, responsável por causar murcha vascular e descoloração no tecido vegetal pelo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f.

sp. *passiflorae* (Fop) (SILVA et al., 2013b; SANTANA et al., 2018; MELO et al., 2020; CARVALHO et al., 2021; AIELLO et al., 2021; PIRES et al., 2022).

O *Fusarium* é um dos mais abundantes gêneros de fungos de solo, com espécies de importância ambiental e agrícola. Mesmo com o avanço tecnológico, a fusariose continua progredindo mundialmente, comprometendo a produtividade das culturas (SILVA et al., 2013a). O *Fusarium oxysporum* é um fungo filamentosos, saprófitas e patógenos (PLOETZ, 2015; RODRIGUEZ; HADDAD, 2018). Sua reprodução assexuada (anamorfo) e sua dispersão, ocorrem por meio do macro, microconídios e clamidósporos (RODRIGUEZ; HADDAD, 2018). Sobrevivem em forma de clamidósporos, na ausência de tecidos vivos do hospedeiro, sob essas condições o patógeno pode permanecer e sobrevive por muitos anos (VIEIRA et al., 2020a). Há também a possibilidade de *Fusarium* endófitico, de forma assintomática, em plantas espontâneas (RODRIGUEZ; HADDAD, 2018). Este fitopatógeno se espalha em escala microespacial, via crescimento micelial e expansão da colônia. A distribuição espacial das fontes de inóculo e os fatores ambientais, afetam a taxa de expansão desse fitopatógeno (LIMA et al., 2021).

A murcha de *Fusarium* é de difícil controle, devido esse patógeno habitar no solo e penetrar no sistema radicular da planta (ROCHA et al., 2017). Ao penetrar no sistema radicular do hospedeiro, bloqueia os vasos do xilema e conseqüentemente, o transporte de água e nutrientes para outros órgãos da planta. Conseqüentemente, desencadeia uma série de sintomas externos da doença como, ramos murchos e o amarelecimento das margens das folhas mais velhas, que progride das folhas mais velhas para as mais jovens (SILVA et al., 2013b; PLOETZ, 2015).

A fusariose é caracterizada por uma lesão situada na região entre as raízes e o caule, que provoca murcha e morte das plantas. A descoloração vascular marrom escura é observada nas raízes e caules inferiores das plantas (ROONEY-LATHAM et al., 2011). Essa doença é mais comumente observada em plantas adultas (MELO et al., 2020). As plantas jovens quando expostas a condições de alta temperatura, excesso umidade e sombreamento e cultivadas em solos com histórico de doenças, podem morrer com o ataque desse fitopatógeno (BENNETT; DAVIS, 2013; FERREIRA et al., 2015).

A forma mais eficiente de controle dessa doença, tem sido o uso de cultivares resistentes, pois ainda não há um controle químico efetivo. Devido à complexidade do patossistema que envolve a fusariose e ao fato do fungo habitar o

solo. O defensivo químico não é eficiente no controle da doença e ainda não existem nenhum produto registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para utilização na cultura do maracujá.

Em estudos realizados por SILVA et al. (2013b) foram identificados genótipos de maracujá (*Passiflora* sp.) resistentes a *F. oxysporum*, constituído por um acesso de maracujá amarelo (BGP020), um de maracujá doce (BGP235), cinco acessos de *P. cincinnata* (BGP268, BGP290, BGP296, BGP297 e BGP298) e um híbrido (HFOP-07) em que, a resistência foi dependente do genótipo, mas não foi encontrada variação significativa entre o *P. edulis* roxo e o amarelo.

A variabilidade genética entre isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* mudam seu padrão de agressividade em condições controladas. Pires et al. (2022) avaliaram a agressividade de nove isolados de Fop em plântulas de *Passiflora edulis* através de análises de sobrevivência e anatômicas de raízes infectadas e verificaram que a incidência de plantas murchas variou de 20% a 90% dos isolados com média de 50% e que o isolado CMF3115 foi o mais agressivo com 70% de plantas mortas até 70 dias após a inoculação e apenas 3% de plantas sobreviveram à doença, além de ser responsável por grande número de clamidósporos nas raízes.

2.3.1 Infecção fúngica e estratégias de colonização

O *F. oxysporum*, penetra pelas raízes secundárias, através de pequenos ferimentos ou aberturas naturais nas raízes, inicia a infecção em resposta aos exsudatos das raízes e logo após a germinação, suas hifas se aderem à epiderme e a penetram diretamente nos tecidos radiculares do hospedeiro (BANI et al., 2018). Colonizam os vasos da planta, em seguida o micélio avança intracelularmente pelo córtex e causa a obstrução do xilema e morte da planta (FERREIRA et al., 2015; BANI et al., 2018).

A parede celular de fungos patogênicos composta por quitina, é uma estrutura importante que protege os fungos dos mecanismos de defesa dos hospedeiros (JANBON et al., 2014). Sua estrutura dinâmica essencial para a viabilidade e morfogênese celular, é uma das barreiras que protegem os fungos do estresse ambiental. A parede celular possui enzimas que podem ser secretadas para facilitar a degradação dos tecidos do hospedeiro, a fim de liberar nutrientes

essenciais para o seu metabolismo, crescimento e invasão dos tecidos. Além de conter receptores ambientais, que permitem que os fungos resistam ao estresse, pressão osmótica ou moléculas tóxicas (LATGÉ, 2010).

As paredes celulares dos fungos são organizadas de maneira semelhante. Quase 90% da parede celular fúngica é composta por polissacarídeos (LECOINTE et al., 2019), com duas camadas: uma camada interna e uma camada externa, que é um tipo de matriz de carboidratos. O esqueleto é composto de β -1,3- e / ou 1,6-glucano e quitina ligados a proteínas ou outros polissacarídeos. A camada externa é mais variável entre as espécies. Glucano, quitina e polímeros de resíduos de manose são os polissacarídeos mais comuns que compõem os envelopes da superfície celular de espécies fúngicas (JASHNI et al., 2015; LECOINTE et al., 2019).

Para evitar o reconhecimento pelos receptores de quitina do hospedeiro, inúmeros ascomicetos fitopatogênicos secretam proteínas efetoras. Essas proteínas competem com os receptores do hospedeiro pela ligação de fragmentos de quitina ou reduzem a acessibilidade da quitina da parede celular ao ataque pelas enzimas quitinases vegetais, que liberam fragmentos de quitina (TAKAHARA et al., 2016). A expressão de genes, que codificam proteínas PR relacionadas a patogênese, é uma resposta da RSA, que degradam a parede celular de fungos fitopatogênicos como uma resposta de defesa que limitam as atividades de parasitismo (GUPTA et al., 2013). Os patógenos produzem enzimas que ajudam na proteção contra a ação fungitóxica das proteínas PR e que inibem a suas atividades (AOUN, 2017).

Patógenos virulentos podem inibir proteases apoplásticas de plantas e causar doenças em plantas suscetíveis (JASHNI et al., 2015) e atrasam o acúmulo de proteínas PR no hospedeiro. Na dinâmica do metabolismo radicular durante interações compatíveis e incompatíveis entre grão de bico e *F. oxysporum* f. sp. *ciceri*, no qual utilizaram a proteômica quantitativa sem marcação e metabolômica baseada em Ressonância magnética (RMN), verificou-se maior acúmulo de proteínas PR em plantas resistentes (KUMAR et al., 2016). Enquanto o acúmulo mais lento de proteínas PR está relacionado a ausência ou ação reduzida de alguns elicitores (AOUN, 2017). O patógeno pode se adaptar também às proteínas PR. A expressão de quitinases produzida pela planta pode não levar à resistência contra patógenos fúngicos, porque o fungo se adaptou aos mecanismos de defesa de seu hospedeiro (AOUN, 2017).

2.4 Atuação dos microrganismos promotoras de crescimento de plantas (MPCP) no controle biológico

Os MPCP atuam como agentes de controle biológico, devido a produção de ácido cianídrico, antibióticos e bacteriocinas (LOPES et al., 2021a), competição por espaço e por nutrientes (BOLÍVAR-ANILLO et al., 2019), Fe^{+3} (LOPES et al., 2021a), parasitismo (GUPTA et al., 2013), indução de resistência e antagonismos (KIM et al., 2015, REZENDE et al., 2021). Estes podem promover o crescimento das plantas por mecanismos diretos e indiretos (LOPES et al., 2021a).

Os mecanismos diretos consistem em características que atuam na promoção do crescimento vegetal, como produção de auxinas, enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminase (ACC) desaminase, citocinina, giberelina, fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo e sequestro de ferro por sideróforos bacterianos (OLANREWAJU et al., 2017; LOPES et al., 2021a). A excreção de sideróforos melhora o estado nutricional da planta e inibe fitopatógenos, pelo sequestro de ferro do meio ambiente (VARMA et al., 2019).

Microrganismos como *Bacillus* sp., produzem compostos voláteis, como dissulfeto de dimetila, que disponibiliza enxofre (S) para plantas e atuam na manutenção de enzimas de síntese protéica (LOPES et al., 2021a; LOPES et al., 2021b). Os mecanismos indiretos referem-se a características bacterianas que inibem o funcionamento de um ou mais organismos fitopatogênicos, que incluem enzima ACC desaminase, antibióticos, enzimas degradantes da parede celular, competição, cianeto de hidrogênio, resistência sistêmica induzida (RSI) e extinção de sideróforos (OLANREWAJU et al., 2017).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), especificamente selecionadas para controle biológico promovem o controle de múltiplas doenças. Ao colonizar as raízes, atuam como eliciadores de sinais bioquímicos (jasmonato ou etileno) através de moléculas constituintes da célula bacteriana ou por ela sintetizadas (YANG et al., 2023). Esses eliciadores atuam como sinais e acionam os mecanismos de defesa, havendo, então, a resistência sistêmica induzida (KIM et al., 2015). A translocação desses sinais ativa a expressão de genes que codificam, para a síntese de componentes da resistência.

O ácido salicílico (AS), ácido jasmônico (AJ) e o etileno são os principais sinais endógenos que levam a respostas de defesa das plantas (BERNARDES et al.,

2010). Um grande número de BPCP, tem sido identificado como potenciais eliciadores de RSI, pela capacidade de controlar sistematicamente várias doenças em diversas espécies de plantas (HUANG et al., 2019; LOPES et al., 2021a). A inoculação desses microrganismos pode atuar como indutores para expressão de proteínas com atividade fungicida ou viral por exemplo, levando ao aumento da resistência das plantas aos patógenos (BOLÍVAR-ANILLO et al., 2019).

Durante o controle biológico, as bactérias podem utilizar das estratégias para inibir os patógenos, através da competição por compostos orgânicos e micronutrientes (BOLÍVAR-ANILLO et al., 2019; HUANG et al., 2019), produção de sideróforos (LOPES et al., 2021a), produção de metabólitos secundários (LAZAROVITS et al. 2014), produção de enzimas líticas extracelulares (celulases, quitinases, glucanases, lipases e proteases) (BOLÍVAR-ANILLO et al., 2019), que podem afetar a integridade da célula do patógeno e ativação do mecanismo de defesa da planta através da indução da resposta sistêmica (KIM et al., 2015). Algumas evidências indiretas inferem que a competição entre patógenos e rizobactérias pode limitar a incidência e a gravidade da doença, impedindo os patógenos de causar sintomas nas plantas (INNEREBNER et al., 2011).

Trichoderma é um fungo habitante do solo e altamente interativo com a raiz e interior das plantas, com destaque no potencial de controle biológico direto de fitopatógenos (WOO et al., 2023). Os principais modos de ação do fungo do gênero são competição, parasitismo e antibiose, devido a produção de enzimas quitinolíticas e glucanases que degradam a parede celular dos fitopatógenos (BAUERMEISTER et al., 2010; SOLDAN et al., 2018; ESLAHI et al., 2022). Atuam também, no processo de decomposição e mineralização de resíduos vegetais, solubilizam o P, disponibilizam nutrientes para as plantas (OLIVEIRA et al., 2012) e produzem ácido indol-3-acético (IAA) (HOYOS-CARVAJAL et al., 2009; SOLDAN et al., 2018), que promove o crescimento vegetal.

Trichoderma spp. produz compostos antibióticos e substâncias antagônicas que auxiliam na competição/nutrição e no controle biológico de fitopatógenos (WOO et al., 2023). Os compostos voláteis ou não voláteis produzidos, impedem o crescimento de outros microorganismos, atuando no antagonismo direto ao organismo alvo (GAJERA et al., 2016; WOO et al., 2023). Entre estes metabólitos produzidos destaca-se, os peptaibols, grupo de peptídeos antibióticos produzidos por *Trichoderma* em que representa uma classe de proteínas com alta atividade

antimicrobiana contra bactérias e fungos. Quando atuam sinergeticamente com enzimas hidrolíticas, aumentam o nível de antagonismo por degradar a parede celular, inibir o crescimento de fitopatógenos e ativar resistência nas plantas (HOWELL, 2003; BENITEZ et al., 2004).

Há vários estudos realizados que comprovam o potencial do uso de microrganismos benéficos na promoção de crescimento e no controle biológico de plantas de maracujazeiro. Plântulas inoculadas com *Azospirillum* sp. UENF-412522, obtiveram aumento na altura, matéria fresca da parte aérea e comprimento da raiz (RODRIGUES et al., 2022). O uso de substâncias estimulantes e *Trichoderma harzianum* melhora o crescimento e desenvolvimento em mudas de maracujá (PADILLA et al., 2020). Bactérias endofíticas isoladas de folhas de maracujazeiro inibiram o crescimento micelial de *Phytophthora* sp., por produzir hormônios vegetais como auxinas (IAA), citocininas e giberelinas e solubilizar fosfato (SILVA et al., 2019). Os isolados de bactérias BEL7 e BEL1 são capazes de reduzir o desenvolvimento de *Rhizoctonia solani*, agente etiológico da queima-da-teia-micélica no maracujazeiro, com potencial para utilização como agentes de biocontrole desta doença (CARDOSO et al., 2014).

Os microrganismos antagonistas podem indiretamente, suprimir o crescimento de fitopatógenos com o estímulo do sistema de defesa das plantas, através da indução de resistência, denominadas resistência sistêmica induzida (RSI) e a resistência sistêmica adquirida (RSA) (YANG et al., 2023).

2.4.1 Indução de resistência

A RSI e a RSA atuam através de diferentes vias de sinalização. A indução da RSA ocorre através da infecção por microrganismo virulentos, avirulentos e não patogênicos e do ácido salicílico, essa resistência é uma resposta imune induzível da planta que previne futuras infecções em partes não infectadas do hospedeiro. Os principais componentes da RSA, são as proteínas PR (ALI et al., 2018; REZENDE et al., 2021).

A RSI é induzida por microrganismos benéficos, como bactérias e depende de vias de sinalização do ácido jasmônico (AJ) e etileno (ET) (KIM et al., 2015; ALI et al., 2018). Essas moléculas de sinalização coordenam as respostas de defesa e, quando aplicadas exogenamente induzem a resistência (DEUNER et al., 2015). O

RSI pode proteger as plantas contra os patógenos pela ativação de proteínas PR como β -1,3-glucanases, quitinases e peroxidases (THAKKER et al., 2013) e pelo acúmulo de fitoalexinas e formação de barreiras físicas como calose e lignina. O sinal é transmitido a partir de tecido infectado em toda a planta para indução da expressão geral do gene de defesa (THAKKER et al., 2013). A RSI e RSA quando atuam em conjunto promovem melhor indução de resistência ao patógeno em relação a suas ações isoladas (BENEDUZI et al., 2012).

A produção de proteínas PR é resultante do ataque de fitopatógenos e é dependente de ácido salicílico e proteínas PR são produzidas como resultado de ferimentos ou necrose provocados por fitopatógenos e por herbivoria de insetos, e são dependentes de ácido jasmônico (HARMAN et al., 2004). A outra via de indução de resistência nas plantas é a RSI, descrita como sendo induzida por microrganismos não patogênicos associadas à raiz (FERNANDES et al., 2009).

As bactérias promotoras de crescimento de planta (BPCP) podem induzir à ativação de proteínas PR, que são produzidas em resposta a infecção por patógenos e que participam ativamente na resistência induzida, em condições de estresse biótico ou abiótico (THAKKER et al., 2013). Essas proteínas acumulam-se nos tecidos da planta intactas ou em culturas de células após o tratamento com eliciadores ou ataque de patógenos e localizam-se intra e extracelularmente. Na resistência sistêmica, o acúmulo da proteína pode ocorrer em locais de infecção ou em sítios distantes destes (THAKKER et al., 2013; ALI et al., 2018). Algumas espécies de *Trichoderma* realizam atividades de indução análogas ao sistema ISR e suas moléculas são liberadas no interior da zona de interação com as raízes.

2.4.2 Enzimas marcadoras de indução de resistência

Os mecanismos de defesa das plantas contra fitopatógenos envolvem alterações metabólicas que estão correlacionadas com mudanças na atividade de enzimas chaves nos metabolismos primário e secundário (STANGARLIN et al., 2010). Entre essas enzimas que degradam a parede celular dos fungos (OLANREWAJU et al., 2017), estão as lipoxigenases, as peroxidases, a fenilalanina amônia-liase, as β -1,3-glucanases e as quitinases.

As lipoxigenases catalisam a formação de hidroperóxidos de ácidos graxos poliinsaturados, como o ácido linoleico e o ácido araquidônico, que origina

compostos voláteis e o regulador traumatina, entre outros, envolvidos no crescimento, na maturação, na senescência e em respostas de defesa das plantas com a ativação de mecanismos de sinalização celular através de receptores específicos da superfície celular (MASHIMA; OKUYAMA, 2015).

As peroxidases pertencem à subfamília da proteína PR, oxidam substratos orgânicos através da eliminação do peróxido de hidrogênio, espécie reativa de oxigênio e aceptora de elétrons (ALMEIDA et al., 2012). Essas enzimas participam também do crescimento e do desenvolvimento vegetal, da detoxificação celular e de mecanismos de defesa (lignificação, cicatrização de ferimentos e oxidação de compostos fenólicos) (THAKKER et al., 2013).

A fenilalanina amônia-liase é essencial na biossíntese de fenilpropanóis em que a L-fenilalanina sofre desaminação para produzir transcinamato e amônia, e participar da síntese de monômeros de lignina, ácido salicílico, fitoalexinas e flavonoides (ALMEIDA et al., 2012). As enzimas β -1,3-glucanases hidrolisam β -1,3-glucanas das paredes celulares e dos esporos de fungos (STANGARLIN et al., 2010; THAKKER et al., 2013; VADDEPALLI et al., 2017).

As quitinases catalisam a hidrólise das ligações β -1,4 das N-acetilglicosaminas, que constituem a quitina das paredes celulares dos fungos e desempenham um importante papel no controle biológico (KOWSARI et al., 2016; HUSSON et al., 2017), são induzidas por estresse. Em mudas de banana inoculadas com *Trichoderma* spp., a atividade da quitinase induziu a resistência ao *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (NURBAILIS; ADRIANSYAH, 2016). A superexpressão da quitinase quimérica aumenta a atividade antifúngica de *Trichoderma harzianum* contra *Fusarium graminearum*, sendo essa enzima degradante da parede celular, um agente de biocontrole (KOWSARI et al., 2016).

Enzimas proteolíticas atuam em funções celulares como morfogênese, parasitismo e competição por nutrientes e fornecem fontes de carbono fundamentais ao desenvolvimento microbiano, bem como, sua secreção resulta na degradação de componentes estruturais presentes na parede celular fúngica (antibiose), enquanto que em condições ambientais a secreção proteolítica, pode atuar como eliciadores na ativação do mecanismo de defesa da planta (SAWANT et al., 2020; YASMIN et al., 2020).

A enzima celulose promove a clivagem das ligações β -1, 4-glicosídicas da celulose, em interação planta-microrganismo, degrada a biomassa celulósica

presente nas paredes celulares das plantas, responsáveis por ativar respostas de defesa na planta (SARAVANAKUMAR et al., 2016). Microrganismos que produzem complexos enzimáticos, responsáveis por degradar a parede celular de agentes fitopatogênicos, apresentam potências como agentes de biocontrole, ao promoverem a supressão do fitopatógeno durante a colonização da planta hospedeira (YASMIN et al., 2020).

A influência dos microrganismos promotores de crescimento no crescimento, produtividade e controle biológicos de diferentes culturas agrícolas, sugere a possibilidade do uso desta biotecnologia por viveiristas e produtores, visando a promoção de crescimento e proteção de plantas. Além disso, a fertilização do solo, é fundamental nesse processo, para suprir a demanda de nutrientes e consequentemente aumentar a resistência da planta a fatores bióticos e abióticos, portanto, sendo a utilização de fertilizantes orgânicos e o pó de rocha, alternativas, para além da adubação convencional.

2.5 Uso de rochagem na agricultura

A utilização de rochagem na agricultura tem sido alvo de vários estudos, com importância na ampliação do uso de subprodutos de indústria de mineração, como fonte de potássio, silício e de outros nutrientes. Apresenta vantagem econômica, com baixo custo de produção, além de contribuir na correção do pH do solo (BATISTA et al., 2017).

A técnica de rochagem, é uma das tecnologias adotadas para o suprimento de nutrientes, como remineralizadores de solo, regulamentada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Instrução Normativa N 5 e pela Lei nº 12.890 de 2013. Esta lei dispõe a definição de remineralizador, como sendo um mineral que sofreu alteração do tamanho de suas partículas através de processos mecânicos (moagem), e que ainda assim consegue alterar o índice de fertilidade dos solos, fornecer micro e/ ou macronutrientes para as plantas e promover melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo (BRASIL, 2013). Os critérios mínimos, a IN 5/2016 (BRASIL, 2016) obriga, também, a declaração do pH de abrasão do pó de rocha, e que sua granulometria esteja definida entre as três possíveis classes: farelado, pó ou filler.

A rochagem é considerada uma prática de agricultura sustentável, a depender da quantidade de produto a ser utilizado na qual pode substituir o uso de fertilizantes industrializado, além de reduzir os custos com a aquisição de produtos agrícolas e os problemas ambientais como a eutrofização das águas, ocasionada pela utilização excessiva de fertilizante químicos (MUDALY; VAN DER LAAN 2020; SANTOS et al., 2021).

A rochagem libera os nutrientes de forma lenta, possui baixa solubilidade em relação aos fertilizantes minerais solúveis, por necessidade de intemperização para liberação de nutrientes. A lenta e gradativa disponibilidade dos nutrientes fornecidos pelo pó de rocha, reequilibra o solo gradativamente e favorece a sua reserva nutricional (MELAMED et al., 2007). A solubilização dos nutrientes do pó de rocha, está diretamente relacionada com a rápida atividade biológica no solo, e processos físicos e químicos (SUSTAKOWSKI, 2021). Os ácidos orgânicos podem formar quelatos a partir de seus grupos hidroxila e carboxila com metais ligados à constituição química da rocha e assim promover a liberação de nutrientes como o K^+ (BAHADUR et al., 2014).

Uma das vantagens da utilização da rochagem, é a redução das perdas por lixiviação, devido a liberação lenta dos nutrientes. Entretanto, a baixa concentração de nutriente é considerada como desvantagem, pois torna o processo demorando e com maior exigência da incorporação de outros materiais no solo ou mesmo, necessidade de uso de grandes quantidades de pó de rocha (SANTOS et al., 2021). Mas, estudos evidenciam o aumento da solubilização de nutrientes provenientes de rochas moídas e/ou combinação com microrganismos e adubação orgânica (LOPES et al., 2014c; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2021).

A alta concentração de Al presentes na estrutura química das rochas é também, uma das preocupações no uso de rochas como fontes de nutrientes (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009), uma vez que, pode aumentar os teores de Al no solo e conseqüentemente, seu excesso, torna a solução ácida e assim, prevalece no complexo de troca (CTC) em detrimento dos outros nutrientes. Entretanto, em plantas de milho, o aumento das doses do pó de rocha como remineralizador, reduziu a absorção e acúmulo de Al^{3+} (SANTOS et al., 2021). Tal fator, pode estar relacionado a formação de hidróxi-aluminossilicatos devido a presença de minerais silicatados provenientes da rocha, imóvel na solução do solo, ficando o Al^{3+} indisponível para as plantas.

Estudos com aplicações de pó de rochas fosfatadas contendo minerais de apatitas como fontes de P, rochas basálticas como fonte de Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} , rochas silicáticas fornecedoras de K^+ , rochas sienitos que apresenta teor de K_2O total acima de 10%, classificada como ultrapotássica e basalto que é uma rocha vulcânica básica, já foram realizados (RIBEIRO et al., 2010; SOUZA et al., 2013; ANDRADE JUNIOR et al., 2015; OLIVEIRA et a., 2020; SANTOS et al., 2021). Apresentando resultados positivos para a nutrição de plantas

O Si é absorvido pelas plantas pelo mecanismo de fluxo de massa e se deslocam principalmente para os órgãos de transpiração, concentra-se nas folhas e fortalece sua parede celular (BLAKENAU, 2007). O Si proporciona benefícios em atributos químicos do solo (FERNANDES et al., 2020), estimula o crescimento e o desenvolvimento de plantas (RASOOLIZADEH et al., 2018). Confere às plantas maior resistência a estresses bióticos e abióticos, (HASHEMI et al., 2010; GUO-CHAO et al., 2018), pela maior rigidez estrutural dos tecidos, proteção contra estresses abióticos, como amenização da toxidez de Fe, Mn, Al e Na, aumento da tolerância ao estresse hídrico e à geadas (POZZA et. al., 2015, ZARGAR et al., 2019) e pela proteção contra estresses bióticos, com a redução do ataque de patógeno causadores de doenças e dos insetos fitófagos (POZZA et. al., 2015; GUERRIERO et al., 2016).

A resistência fornecida pelo Si nas células da camada epidérmica está relacionada a ativação de mecanismos de defesa como a indução de barreiras físicas e químicas à penetração do patógeno, como lignificação da parede celular e produção de compostos orgânicos e enzimas de defesa (quitinases, peroxidases), que limitam ou impedem a penetração e colonização do patógeno na planta (FIGUEIREDO; GUERRIERO et al., 2016).

Estudos indicam a influência do Si na redução de doenças. A argila silicatada na concentração de 1,0-2,0%, controlou a mancha bacteriana do maracujazeiro em pulverizações foliares (BRANCAGLIONE et al., 2009). A aplicação de argila silicatada e o Tebuconazole foram eficientes no controle da antracnose em maracujazeiro (MEDEIROS; PERUCH, 2012). O Si afeta o desenvolvimento das doenças pela ação no tecido do fitopatógeno, que proporciona impedimento físico e maior acúmulo de compostos fenólicos e lignina no local da injúria (CHÉRIF et al., 1992).

A integração do Si proveniente de pó de rocha na fertilização do substrato de cultivo pode ser uma medida promissora, na redução de gastos com adubação e defensivos químicos, além de mitigar os riscos de contaminação e o aparecimento de populações de patógenos resistentes (ANDRADE JUNIOR et al., 2015), contribuindo para o manejo fitossanitário das culturas e sustentabilidade agrícola. O uso do silício nas concentrações 0,28 e 0,55 g vaso⁻¹, proporcionou melhor crescimento das plantas de maracujazeiro e acúmulo desse nutriente nas raízes (COSTA et al., 2016).

Mudas de maracujazeiro amarelo obtiveram aumento no crescimento, com o incremento das doses de superfosfato simples e redução do efeito da adubação fosfatada com a adição de pó de rocha ao substrato, provavelmente pelos fenômenos de adsorção por formas de ferro amorfo e/ou por carbonatos, uma vez que, o pó de rocha foi derivado da desintegração de ardósias, mármore e granito (PRATES et al., 2010).

2.6 Uso da adubação orgânica na agricultura

Uma forma de melhorar as características do solo e contribuir para o aumento da produtividade pelo fornecimento de adubo orgânico, que além de fornecer nutrientes e matéria orgânica, melhora os atributos físicos e biológicos do solo contribuindo para sua fertilidade (LIAO et al., 2017; SETHI et al., 2021).

Os benefícios da utilização de fertilizante orgânico vão muito além do fornecimento de nutrientes. A presença de substâncias húmicas, em materiais orgânicos previamente humificados, tem capacidade de influenciar o desenvolvimento das plantas, pois os ácidos húmicos, são considerados compostos bioativos que estimulam o desempenho das plantas e sua aplicação resulta no incremento de concentrações de macro e micronutrientes e podem ter a função de fitohormônios (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

Os adubos orgânicos são decompostos por microrganismos e que liberam nutrientes em maior prontidão as plantas (OMER et al., 2016). Dentre as comunidades microbianas que fazem a biotransformação do material orgânico, as bactérias se destacam por apresentarem uma maior versatilidade de metabolismo (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2015) e por colonizar o ambiente mais rápido em relação aos demais microrganismos e assim explorar os resíduos presentes no solo e

disponibilizar para as plantas. As bactérias têm um papel importante na degradação de amidos, proteínas, celuloses, queratinas eligninas, bem como na solubilização dos fosfatos (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2015).

A utilização de adubação orgânica contribui também, para redução do descarte inadequado de resíduos orgânicos, que causam prejuízos ambientais (poluição de ambientes), sanitários (proliferação de insetos e contaminações) e redução de perdas econômicas, já que esses resíduos podem ser reaproveitados para fertilização do solo e reduzir o custo de produção (SILVA et al., 2021).

O reaproveitamento dos resíduos orgânicos pode ser definido como uma forma de reciclagem e a Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil pela lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 defini a reciclagem como um processo de transformação dos resíduos sólidos que resulta na alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010). E, dentre os processos de reciclagem de resíduos sólidos, a técnica de compostagem tem como vantagens a redução em até 50% do volume do material compostado, tendo o produto final estabilizado que pode ser utilizado como fertilizante ou condicionador de solo (LIAO et al., 2017).

A aplicação de resíduos orgânicos na agricultura, é uma das estratégia eficientes para o aproveitamento desses resíduos, por exemplo, na formulação de substratos de cultivo para produção de mudas. A vários estudos que comprovam o potencial do fertilizante orgânico na produção de mudas de maracujazeiro. A utilização do substrato alternativo de caroço de acerola associado a fertilizante de liberação controlada promoveu os melhores resultados no crescimento e qualidade de mudas de maracujá amarelo (MUNIZ et al., 2020).

Resposta de plantas de maracujá amarelo, foi observada por Silva et al. (2021) ao avaliar 23 substratos em diferentes formulações, verificaram que o grupo constituído apenas de solo + carvão vegetal e hidrogel enriquecido (2:2:1), foi considerado o melhor tratamento, que favoreceu o crescimento vegetativo e vigor de emergência. E o solo + areia com a adição de NPK não foi recomendado para a produção de mudas de maracujá azedo em nenhuma das proporções utilizadas, pois não houve emergência. As concentrações entre 38 e 69% de composto orgânico constituído de esterco bovino combinado com a aplicação de biofertilizante líquido aumentaram o crescimento inicial do maracujazeiro amarelo, viabilizando seu uso na produção de mudas (ANDRADE et al., 2018).

Efeito positivo da adubação orgânica na produção de mudas, devem-se a melhoria na drenagem e porosidade do substrato de cultivo, aumento da população microbiana, disponibilização nutrientes e maior capacidade de armazenamento de água, que resulta em maior desenvolvimento de planta e particularmente no crescimento radicular (BARTHOD; RUMPEL; DIGNAC, 2018).

3. REFERÊNCIAS

AIELLO, D.; FIORENZA, A.; LEONARDI, G.R.; VITALE, A.; POLIZZI, G. *Fusarium nirenbergiae* (*Fusarium oxysporum* Species Complex) Causing the Wilting of Passion Fruit in Italy. **Plants**, v.10, n.10, p.1-7, 2021.

AOUN, M. Host defense mechanisms during fungal pathogenesis and how these are overcome in susceptible plants: A review. **International Journal of Botany**, v.13, n.2, p.82-102, 2017.

ALI, S.; GANAI, B.A.; KAMILI, A.N.; BHAT, A.A.; MIR, Z.A.; BHAT, J.A.; RAWAT, S. Pathogenesis-related proteins and peptides as promising tools for engineering plants with multiple stress tolerance. **Microbiological Research**, v.212, p.29-37, 2018.

ALMEIDA, H.O.; BARBOSA, M.O.; MARQUES, A.E.; PEREIRA, T.H.A.; MAGALHÃES JÚNIOR, M.J.; TESSAROLLO, N.G.; GAMES, P.D.; BARROS, E.G.; STOLF-MOREIRA, R.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; ABDELNOOR, R.V.; PEREIRA, P.R.G.; BARACAT-PEREIRA, M.C. Enzimas marcadoras de indução de resistência diferencialmente reguladas em soja resistente e suscetível à ferrugem-asiática-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.163-172, 2012.

ANDRADE JUNIOR, E.R.; CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A.Q.; VILELA, P. M.C.A. Aplicação de programas de adubação foliar com silício e potássio associados a fungicidas no controle de ferrugem asiática na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v.31, p.18-24, 2015.

ANDRADE, F.H.A.; ALVES, A.S.; CLEMENTE, M.I.B.; ANDRADE, L.R.; OLIVEIRA, D.S.; PEREIRA, W.E.; LINHARES, P.C.A. Initial Growth of Yellow Passion Fruit Under Organic Fertilization. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.9, p.1916-976, 2018.

ARAÚJO, H.F.; COSTA, R.N.T.; CRISÓSTOMO, J.R.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, O.C. Technical and economic indicators of the yellow passion fruit tree irrigated with underground water supply. **Engenharia Agrícola**, v.33, p.940-951, 2013.

ARAÚJO, V.S.; SOUSA, T.K.R.; NOBRE, R.S.; SANTOS, C.M.; NEGREIROS, K.K.S.; CARVALHO, A.C.C.; VELOSO, F.S.; VELOSO, R.C.; REZENDE, J.S. Influence of foliar application of silicon on the development and productivity of corn under water deficit in the semi-arid region of Piauí. **Research, Society and Development**, [S. l.], v.11, n.5, p.e25711528051, 2022.

BAHADUR, I.; SINGH, V.; KUMAR, S. Importance and Application of Potassic Biofertilizer in Indian Agriculture. **Research Journal of Biological Sciences Introduction**, v.3, p. 80–85, 2024.

BANI, M.; PÉREZ-DE-LUQUE, A.; RUBIALES, D.; RISPAIL, N. Physical and Chemical Barriers in Root Tissues Contribute to Quantitative Resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. pisi in Pea. **Frontiers in Plant Science**, v.9, 2018.

BALDOTTO, M.A; BALDOTTO, L.E.B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v.61, supl. p.856-881, 2014.

BARTHOD, J.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.F. Composting with additives to improve organic amendments. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.38, n.17, 2018.

BATISTA, N. T. F.; RAGAGNIN, V.A.; HACK, E.; GÖRGEN, A.L.; MARTINS, E.S. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2017, Pelotas, 03, 2017, Pelotas. **Anais [...]** Pelotas: Embrapa CLIMA Temperado, 2017. p.241-247.

BENEDUZI, A.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L.M.P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology**, v.35 n.4, p.1044-1051, 2012.

BENITEZ, T.; RINCÓN, A.M.; LIMÓN, M.C.; CODÓN, A.C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology**, v.7, p.249-260, 2004.

BENNETT, R.S.; DAVIS, R.M. Method for rapid production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* chlamydospores. **Journal of Cotton Science**, v.7, p.52-59, 2013.

BERNACCI, L.C.; SOARES SCOTT, M.D.; JUNQUEIRA, N.T.V.; PASSOS, I.R. S.; MELETTI, L.M.M. *Passiflora edulis* SIMS: the correct taxonomic way to cite the yellow passion fruit (and of others caulers). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.2, p.566- 576, 2008.

BERRADA, H., FIKRI-BENBRAHIM, K. Taxonomia dos rizóbios: perspectivas atuais. **Microbiology Research Journal International**, v.6, n.6, p.616-639, 2014.

BERNARDES, F.S.; PATRÍCIO, F.R.A.; SANTOS, A.S.; FREITAS, S.S. Indução de resistência sistêmica por rizobactérias em cultivos hidropônicos. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.2, p.115-121, 2010.

BAUERMEISTER, A.; REZENDE, M.I.; GIESE, E.C.; DEKKER, R.F.H.; BARBOSA, A.M. 1,3-Glucanases Fúngicas: produção e aplicações biotecnológicas. LONDRINA SP. rev. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.31, n.2, p.75-86, 2010.

BOLÍVAR-ANILLO, H. J.; GARRIDO, C.; COLLADO, I. G. Endophytic microorganisms for biocontrol of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinérea*. **Phytochemistry Reviews**, p.1-20, 2019.

BLANKENAU, K. Cálcio no solo e na planta. **Informações agronômicas**, n.117, 2007.

BRAULIO, C.S.; SILVA, L.F.L.; SILVA, C.S.; CORREIA, A.J. ROCABADO, J.M.A.; NÓBREGA, R.S.A. Can inoculation with diazotrophic bacteria decrease the productivity loss of defoliated *Vigna unguiculata* (L.) Walp? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, n.3, p.189-196, 2021.

BRANCAGLIONE, P.; SAMPAIO, A.C.; FISCHER, I.H.; ALMEIDA, A.M.; FUMIS, T.F. Analysis of the efficiency of controlling silicate clay on *Xanthomonas axonopodis* pv. *passiflorae* in vitro and in seedlings of yellow passion fruit contaminated. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, p.718-724, 2009.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Planalto, Casa Civil, DOU, 2010.

BRASIL. **Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2013.

BRASIL. **Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016**. Regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Brasília, DF: Diário Oficial da União - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.

CAMPOS, A.L.; IGNÁCIO, Á.R.A.; OLIVEIRA JUNIOR, E.S.; LÁZARO, W.L. O avanço do agrotóxico no Brasil e seus impactos na saúde e no ambiente. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.14, n.1, e007934, 2021.

CARVALHO-OKANO, R.M; VIEIRA, M.F. MORFOLOGIA EXTERNA E TAXIONOMIA. IN BRUCKNER, C.H.; PIKANÇO, M.C. (Ed.) Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado. Porto Alegre: **Cinco Continentes**, p.33-49, 2001.

CARVALHO, J.A.; JESUS, J.G.; ARAUJO, K.L.; SERAFIM, M.E.; GILIO, T.A.S.; NEVES, L.G. Passion Fruit (*Passiflora* spp.) species as sources of resistance to soil phytopathogens *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Passiflorae* complex. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.43, n.1, p.e-427, 2021.

CARDOSO, S.V.D.; ISHIDA, A.K.N.; FREIRE, A.K.N.; SILVA, C.T.B.; HALFELD-VIEIRA, B.A. Efeito de bactérias do filo plano no biocontrole de *Rhizoctonia solani*. In: Simpósio de Fruticultura Sustentável do Nordeste Paraense, 1., 2014, Capitão Poço.

Anais [...] Capitão de Poço: Fruticultura no Nordeste paraense: oportunidades e desafios para uma sustentabilidade eficiente. Capitão Poço: UFRA, 2014.

CAVALCANTE, N.R.; VIANA, A.P.; ALMEIDA FILHO, J.E.; PEREIRA, M.G.; AMBRÓSIO, M.; SANTOS, E.A.; RIBEIRO, R.M.; RODRIGUES, D.L.; SOUSA, C.M.B. Novel selection strategy for half-sib families of sour passion fruit *Passiflora edulis* (Passifloraceae) under recurrent selection. **Genetics and Molecular Research**, v.18, p.1- 11, 2019.

CAVALCANTE, I.H.L.; CAVALCANTE, L.F.; SANTOS, G.D.; BECKMANN-CAVALCANTE, M.Z.; SILVA, S.M. Impact of biofertilizers on mineral status and fruit quality of yellow passion fruit in Brazil. **Communications in soil science and plant analysis**, v.43, n.15, p. 2027-2042, 2012.

CAVICHIOLO, J.C.; CONTIERO, L.A.F.; CELESTRINO, R.B. Maracujá: Nordeste ainda domina cultivo. **Revista Campo & Negócios online**. Minas Gerais – MG. 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/maracuja-nordeste-ainda-domina-cultivo/> Acesso em 24 janeiro de 2021.

CORDEIRO, Z.J.M.; MATOS, A.P.; MEISSNER FILHO, P.E. Doenças e métodos de controle. **O cultivo da bananeira**, v.1, p.146-182, 2004.

COSTA, B.N.S.; DIAS, G.M.G.; COSTA, I.J.S.; ASSIS, F.A.; SILVEIRA, F.A.; PASQUAL, M. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. **Acta Scientiarum Agronomia**, v.38, p.503-511, 2016.

CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.41, p.371-385, 1992.

CHIDEBE, I.N.; JAISWAL, S.K.; DAKORA, F.D. Distribution and Phylogeny of Microsymbionts Associated with Cowpea (*Vigna unguiculata*) Nodulation in Three Agroecological Regions of Mozambique. **Applied and Environmental Microbiology**, v.84, n.2, p.e01712-172, 2018.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.O.; FREDDI, O.S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v.70, p.908-916, 2011.

DEUNER, C.; BORGES, C.T.; ALMEIDA, A.S.; MENEGHELLO, G.E.; TUNES, L.V.M. Jasmonic acid as a promoter of resistance in plants. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.3, p.275-281, 2015.

DÍAZ.; RODRÍGUEZ, G.; MONTANA, L.; MIRANDA, T.; BASSO, C.; ARCIA, M. Efecto de la aplicación de bioestimulantes y *Trichoderma* sobre el crecimiento en plántulas de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en vivero. **Bioagro**, v.32, n.3, p.195-204, 2020.

EGLI, D.B. Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during flowering and pod set. **Crop Science**, v.50, p.1971-1977, 2010.

ESASHIKA, D.A.S.; FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V. Phenology of the production of flowers and fruits of wild and hybrid species of the genus *Passiflora*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.40, p.177-188, 2018.

ESLAHI, N.; KOWSARI, M.; ZAMANI, M.R.; MOTALLEBI, M. Correlation study between Biochemical and Molecular Pathways of *Trichoderma harzianum* Recombinant Strains on Plant Growth and Health. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.41, p.1561-1577, 2022.

FERNANDES, P.B.; BITENCOURT, L.P.; THEODORO, G.F.; CURCIO, U.A., THEODORO, W.A.; ARRUDA, C.O.C.B. Influence of calcium silicate on soil fertility and corn morphology. **Journal of Agricultural Studies**, v.8, p.51-63, 2020.

FERNANDES, D.A.; ARAUJO, M.M.V.; E.C.C. Crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo sob diferentes lâminas de irrigação e uso de hidrogel. **Revista de Agricultura**, v.90, n.3, p.229-236, 2015.

FERNANDES, C.F.; VIEIRA JÚNIOR, J.R.; SILVA, D.S.G.; REIS, N.D.; ANTUNES JÚNIOR, H. Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos. **Documentos 133, Embrapa Rondônia**, v.1, 2009.

FERREIRA, R.B.; RODRIGUES, A.A.C.; MORAES, F.H.; CANDIDO E SILVA, E. K.; NASCIMENTO, I.O. Resíduos orgânicos en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* en maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). **Acta Biológica Caulembiana**, v.20, p.111-120, 2015.

FIGUEIREDO, F.C.; RODRIGUES, C.R. Silício líquido solúvel: a sinergia entre a nutrição e defesa de plantas. **Revista Campo & Negócio**, v.47, p.12-15, 2007.

GAJERA, H.P.; HIRPARA, D.G.; KATAKPARA, Z.A.; PATEL, S.V.; GOLAKIYA, B.A. Molecular evolution and phylogenetic analysis of biocontrol genes acquired from SCoT polymorphism of mycoparasitic *Trichoderma koningii* inhibiting phytopathogen *Rhizoctonia solani* Kuhn. **Infection, Genetics and Evolution**, v.45, p.383-392, 2016.

GONÇALVES, A.; GOUFO, P.; BARROS, A.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R.; TRINDADE, H.; ROSA, E.A.; FERREIRA, L.; RODRIGUES, M. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.96, p.2941-2951, 2016.

GONZÁLEZ, G.G.H.; LISKA, G.R.; HUMADA, B.G. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de regiões para produção de feijão-caupi no estado da Bahia. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.3, p.2827-2832, 2021.

GUO-CHAO, Y.; NIKOLIC, M.; UM-JUN, Y.; ZHUO-XI, X.; YONG-CHAO, L. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. **Journal of Integrative Agriculture**, v.17, n.10, p.2138-2150, 2018.

GUPTA, P.; RAVI, I.; SHARMA, V. Induction of β -1,3-glucanase and chitinase activity in the defense response of *Eruca sativa* plants against the fungal pathogen *Alternaria brassicicola*. **Journal of Plant Interactions**, v.8 n.2, p.155-161, 2013.

HASHEMI, A.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H.R. Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. **Soil Science Plant Nutrition**, v.56, p.244-253, 2010.

HARMAN, G.E.; HOWELL, C.R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species--opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews. **Microbiology**, v.2, n.1, p.43–56, 2004.

HOWELL, C. R. Mechanisms Employed by *Trichoderma* Species in the Biological Control of Plant Diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, v.87, n.1, p.4-10, 2003.

HOYOS-CARVAJAL, L.; ORDUZ, S.E.; BISSETT, J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. **Biological Control**, v.51, n.3, p.409- 416, 2009.

HUANG, J.; PANG, Y.; ZHANG, F.; HUANG, Q.; ZHANG, M.; TANG, S.; FU, H.; LI, P. Suppression of *Fusarium* wilt of banana by combining acid soil ameliorant with biofertilizer made from *Bacillus velezensis* H-6. **European Journal of Plant Pathology**, v.154, p.585-596, 2019.

HUNGRIA, M.; NEVES, M.C.P. Cultivar and *Rhizobium* strain effect on nitrogen fixation and transport in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and soil**, v.103, p.111-121, 1987.

HUSSON, E.; HADADE, C.; HUET, G.; LACLEF, S.; LESUR, D.; LAMBERTYN, V.; JAMALI, A.; GOTTIS, S.; SARAZIN, C.; NHIEN, A.N.V. The effect of room temperature ionic liquids on the selective biocatalytic hydrolysis of chitin via sequential or simultaneous strategies. **Green Chem**, v.19, p.4122-4131, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de maracujá**, 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

INNEREBNER, G.; KNIEF, C.; VORHOLT, J.A. Protection of *Arabidopsis thaliana* against leaf-pathogenic *Pseudomonas syringae* by *Sphingomonas* strains in a controlled model system. **Applied and Environmental Microbiology**, v.77, n.10, p.3202-3210, 2011.

JANBON, G.; ORMEROD, K.L.; PAULET, D.; BYRNES, E.; YADAV, V.; CHATTERJEE, G.; MULLAPUDI, N.; HON, CHUNG-CHAU, H. BILLMYRE, R.B.;

BRUNEL, F.; BAHN, YOUNG-SUN.; CHEN, W.; CHEN, Y.; DIETRICH, F.S. Analysis of the Genome and Transcriptome of *Cryptococcus neoformans* var. *grubii* Reveals Complex RNA Expression and Microevolution Leading to Virulence Attenuation. **PLoS Genet**, v.10, n.4, p.e1004261, 2014.

JASHNI, M.K.; DOLS, I.H.M.; IIDA, Y.; BOEREN, S.; BEENEN, H.G.; MEHRAB, R.; COLLEMARE, J.; WIT, P.J.G.M. Synergistic action of a metalloprotease and a serine protease from *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* cleaves chitin-binding tomato chitinases, reduces their antifungal activity, and enhances fungal virulence. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.28, p.996-1008, 2015.

JOHANN, J.A.; SILVA, M.C.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DALPOSSO, G.H. Variabilidade espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.700-714, 2010.

KIM, JI-SEONG.; LEE, J.; LEE, CHAN-HUI.; WOO, S.Y.; KANG, H.; SANG-GYU SEO, SANG-GYU.; KIM, SUN-HYUNG. Activation of Pathogenesis-related Genes by the Rhizobacterium, *Bacillus* sp. JS, Which Induces Systemic Resistance in Tobacco Plants. **Plant Pathology Journal**, v.31, n.2, p.195-201, 2015.

KOWSARI, M.; ZAMANI, M.; MOTALLEBI, M. A superexpressão da quitinase quimérica 42 aumentou a atividade antifúngica de *Trichoderma harzianum* contra *Fusarium graminearum*, **Mycaulegia Iranica**, v.3, n.1, p.15-23, 2016.

KUMAR, S.; STECHER, G.; TAMURA, K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. **Molecular Biology and Evolution**, v.33, p.1870-1874, 2016.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. **CETEM**, 2009. 655 p.

LATGÉ, J.P. Tasting the fungal cell wall. **Cellular Microbiology**, v.7, p.863-872, 2010.

LAZAROVITS, G.; TURNBULL, A.; JOHNSTON-MONJE, D. Plant health management: biological control of plant pathogens. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, v.4, p.388-399, 2014.

LECOINTE, K.; CORNU, M.; LEROY, J.; COULON, P.; SENDID, B. Polysaccharides Cell Wall Architecture of Mucorales. **Frontiers Microbiology**, v.10, p.469, 2019.

LIAO, H.P.; LU, X.M.; RENSING, C.; FRIMAN, V.P.; GEISEN, S.; CHEN, Z.; YU, Z.; WEI, Z.; ZHOU, S.G.; ZHU, Y.G. Hyperthermophilic composting accelerates the removal of antibiotic resistance genes and mobile genetic elements in sewage sludge. **Environmental Science & Technology**, v.52, p.266-276, 2017.

LIMA, G.S.; ROCHA, L.S.; SANTOS-FILHO, H.P.; MICHEREFF, S.J.; LARANJEIRA, F.F. Modeling the spread of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in simulated physical microenvironment. **Tropical Plant Pathology**, v.46, p.282-293, 2021.

LIMA-PRIMO , H.E.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; NECHET, K.L.; SOUZA, G.R.; MIZUBUTI, E.S.G.; OLIVEIRA, J.R. Influence of bacterial blight on different phenological stages of cowpea. **Scientia Horticulturae**, v.255, p.44-51, 2019.

LOPES, M.J.S.; SANTIAGO, B.S.; SILVA, I.N.B.; GURGEL, E.S.C. Microbial biotechnology: inoculation, mechanisms of action and benefits to plants. **Research, Society and Development**, [S. l.], v.10, n.12, p.e356101220585, 2021a.

LOPES, M.J.S., DIAS-FILHO, M.B.; GURGEL, E.S.C. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, n.606454, p.1-13, 2021b.

LOPES, O.M.M.; CARRILHO, E.N. V.M.; LOPES-ASSAD, M.L.R.C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38 p.1547-1557, 2014c.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.A.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; VARGAS-GARCÍA, M.C.; LÓPEZ, M. J.; JURADO, M.M.; MORENO, J. Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: studies upon its structure, functionality and biodiversity. **Bioresource Technology**, v.175, p.406-416, 2015.

LUCAS, M.J.; HUNGRIA, M. Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Scientia Agricola**, v.71, n.3, p.181-187, 2014.

MASHIMA, R.; OKUYAMA, T. The role of lipoxygenases in pathophysiology; new insights and future perspectives. **Redox Biology**, v.6, p.297-310, 2015.

MEDEIROS, A.M.; PERUCH, L.A.M. Fungicidas e argila silicatada no controle da antracnose do maracujá amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1808, 2012.

MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2007. Série de Estudos e Documentos 72 (SED72), 24p.

MELO, N.J.A.; NEGREIROS, A.M.P.; MEDEIROS, H.L.S.; SALES JÚNIOR, R. Evaluation of *Fusarium* wilt disease in passion fruit species inoculated with *Fusarium oxysporum* f.sp. *passiflorae*. **Journal of Phytopathology**, v.168, n.2, p.81-87, 2020.

MONQUERO, P.A.; INÁCIO, E.M.; SILVA, A.C. Levantamento de agrotóxicos e utilização de equipamento de proteção individual entre os agricultores da região de Araras. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, p.135-139, 2021.

MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.R.; BORGES, A.L.; SILVA, L.D.; HADDAD, F. Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. **South African Journal of Botany**, v.137, p. 249-256, 2021.

MUDALY, L.; VAN DER LAAN, M. Interactions between irrigated agriculture and surface water quality with a focus on phosphate and nitrate in the middle olifants catchment, South Africa. **Sustainability**, v.12, n.1, p.2-25, 2020.

MUNIZ, P.S.B.; ANDRADE NETO, R.C.; LUNZ, A.M.P.; ALMEIDA, U.O.; ARAÚJO, J. M. Alternative substrates and controlled-release fertilizer in the production of yellow passion fruit seedlings. **Comunicata Scientiae**, v.11, p.e3292, 2020.

NURBAILIS, M.; ADRIANSYAH, H. Caulenization Capability of *Trichoderma viride* (T1sk) on several banana cultivar roots and its effect against development of *Fusarium* Wilt disease and plant growth. **Journal of Biopesticides**, v.9, n.2, p.196-203, 2016.

OLANREWAJU, O.S.; GLICK, B.R.; BABALOLA, O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.33, n.11, p.197, 2017.

OLIVEIRA, A.K.M.; PINA, J.C.; PEREIRA, S.R.; BONO, J.A.M.; MATIAS, A.; PIRES, F.F.; ASSIS, T.E. Effect of basalt rock powder associated with different substrates on the initial development of aroeira seedlings (*Myracrodruon urundeuva*). **Agrarian and Biological Sciences**, v.9, n.12, 2020.

OLIVEIRA, A.G.; JUNIOR, A.F.C.; SANTOS, G.R.; MILLER, L.O.; CHAGAS, L.F.B. Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma* spp. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.3, p.149-155, 2012.

OMER, A.M.; EMARA, H.M.; ZAGHLOUL, R.A.; MONEM, M.O.; DAWWAM, G.E. Potential of *Azotobacter salinestris* as plant growth promoting rhizobacteria under saline stress conditions. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v.7, n.6, p.2572-2583, 2016.

PIRES, R.A.; JESUS, O.N.; LIMA, L.K.S.; SILVA, L.N.; LARANJEIRA, F.F. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings. **European Journal of Plant Pathology**, v.162, p.465-476, 2022.

POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, v.62, n.3, p.323-331, 2015.

PLOETZ, R.C. *Fusarium* Wilt of Banana. **Phytopathology**, v.105, p.1512-1521, 2015.

PRATES, F.B.S.; VELOSO, H.S.; SAMPAIO, R.A.; ZUBA JUNIOR, G.R.; LOPES, P.S.N.; FERNANDES, L.A.; MAIO, M.M. Crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha. **Revista Ceres**, v.57, n.2, p.239-246, 2010.

PROULX, R.A.; NAEVE, S.L. Pod removal, shade, and defoliation effects on soybean yield, protein, and oil. **Agronomy Journal**, v.101, p.971-978, 2009.

RASOOLIZADEH, A.; LABBÉ, C.; SONAH, H.; DESHMUKH, R.K.; BELZILE, F.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon protects soybean plants against *Phytophthora sojae* by interfering with effector-receptor expression. **BMC Plant Biology**, v.18, p.1-13, 2018.

RAMAIYA, S.D.; JAPAR, S.B.; MUTA, H.Z. Physicochemical, fatty acid and antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora* species) seed oil. **Pakistan Journal of Nutrition**, v.18, n.5, p.421-429, 2019.

REZENDE, C.C.; SILVA, M.A.; FRASCA, L. L.M.; FARIA, D.R.; FILIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; NASCENTE, A.S. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, p.e50810212725, 2021.

RIBEIRO, L.S.; SANTOS, A.R.; SOUZA, L.F.S.; SOUZA, J.S. ROCHAs silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p-891-897, 2010.

ROCHA, F.Y.O.; OLIVEIRA, C.M.; SILVA, P.R.A.; MELO, L.H.V.; CARMO, M.G. F.; BALDANI, J.I. Taxonomical and functional characterization of *Bacillus* strains isolated from tomato plants and their biocontrol activity against races 1, 2 and 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Applied Soil Ecaulegy**, v. 120, p. 8-19, 2017.

RODRIGUES, G.L.; MATTEOLI, F.P.; GAZARA, R.K.; RODRIGUES, P.S.L.; SANTOS, S.T.; ALVES, A.F.; PEDROSA-SILVA, F.; OLIVEIRA-PINHEIRO.; CANEDO-ALVARENGA, D.; OLIVARES, F.L.; VENACIO, T.M. Characterization of cellular, biochemical and genomic features of the diazotrophic plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* sp. UENF-412522, a novel member of the *Azospirillum* genus. **Microbiological Research**, v.254, p.126896, 2022.

RODRIGUEZ, M.A.D.; HADDAD, F. Raça 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense: subsídios para caracterização de praga quarentenária ausente / **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2018. 37 p.: il.

ROONEY-LATHAM, S.; BLOMQUIST, C.L.; SCHECK, B. First Report of *Fusarium* Wilt Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* on Passion Fruit in North America. **Plant Disease**, v. 95, 2011.

SANTANA, M.S.; SANTANA, L.S.; SILVA, O.M.C.; XIMENES, L.M.A.S. Incidência de doenças fúngicas no maracujazeiro (*Passiflora edulis* sp.) em propriedades familiares no município de Alta Floresta – MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.15, n.27, p. 2018.

SANTOS, L.F.; SODRÉ, F.F.; MARTINS, É.S.; FIGUEREDO, C.C.; BUSATO, J.G. Effects of biotite syenite on the nutrient levels and electrical charges in a *Brazilian Savanna* Ferralsol. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v.51, p.e66691-x, 2021.

SANTOS, M.P.A.; SANTOS, A.C.; CHAN, G.A.H.; DALCIN, M.S.; ROCHA, W.S.; LEITE, O.C. Variabilidade espacial de características morfofisiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.9, n.4, 369-376, 2021.

SARAVANAKUMAR, K.; FAN, L.; FUL, K.; YUL, C.; WANG, M.; XIAL, H.; SUN, J.; LI, Y.; CHE, J. Cellulase from *Trichoderma harzianum* interacts with roots and triggers induced systemic resistance to foliar disease in maize. **Scientific Reports**, v.6, p.1-18, 2016.

SAWANT, I.S.; WADKAR, P.N.; GHULE, S.B.; SALUNKHE, V.P.; CHAVAN, V.; SAWANT, S.D. Induction of systemic resistance in grapevines against powdery mildew by *Trichoderma asperelloides* strains. **Australasian Plant Pathology**, v.49, n.2, p.107-117, 2020.

SETHI, D.; SUBUDHI, S.; RAJPUT, V.D.; KUSUMAVATHI.; SAHOO, T.R.; DASH, S.; MANGARAJ, S.; NAYAK, D.K.; PATTANAYAK, S.K.; MINKINA, T.; GLINUSCHKIN, A.P.; KALINITCENKO, V.P. Exploring the role of mycorrhizal and *Rhizobium* inoculation with organic and inorganic fertilizers on the nutrient uptake and growth of *Acacia mangium* saplings in acidic soil. **Forests**, v.12, n.12, p.2-15, 2021.

SILVA, S.O.; AMORIM, E.P. SANTOS-SEREJO.; J.A.; FERREIRA, C.F.; RODRIGUEZ, M.A.D. Melhoramento genético da banana: estratégias e tecnologias disponíveis. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.3, p.919-931, 2013a.

SILVA, A.S.; OLIVEIRA, E.J.; HADDAD, F.; LARANJEIRA, F.F.; JESUS, O.N.; OLIVEIRA, S.A.S.; COSTA, M.A.P.C.; COSTA, M.A.P.C.; FREITAS, J.P.X. Identification of passion fruit genotypes resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*. **Tropical Plant Pathology**, v.38, n.3, p.236-242, 2013b.

SILVA, S.B.R.; OLIVEIRA, L.A.; AZEVEDO, A.C.; RODRIGUES, A. Bonifacio Coinoculation with *Bradyrhizobium* and *Trichoderma* alleviates the effects of salt stress in cowpea. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.336-344, 2019a.

SILVA, L.N.; LIMA, L.K.S.; AGUIAR, F.S.; JESUS, O.N. Cost reduction and quality enhancement in passion fruit seedlings using alternative substrate. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.3, Sup|1, 2021.

SILVA, C.S.; SANTOS, J.M.C.; SILVA, J.M.; TENÓRIO, F.A.; GUEDES-CELESTINO, E.L.F.; CRISTO, C.C.N.; NASCIMENTO, M.S.; MONTALDO, Y.C.; OLIVEIRA, J.U.L.; SANTOS, T.M. C. Bioprospecting of endophytic bacteria (*Bacillus* spp.) from passionfruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*) for plant growth promotion, **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.08, p.1369-1374, 2019b.

SILVA, R.M.; AMBRÓSIO, M.M.Q.; AGUIAR, A.V.M.; FALEIRO, F.G.; CARDOSO, A.M. S.; MENDONÇA, V. Reação de cultivares de maracujazeiro em áreas com fusariose, **Summa Phytopathol**, v.43, n.2, p.98-102, 2017.

SILVA, C.D.S.; SANTOS, P.A.A.; LIRA, J.M.S.; SANTANA, M.C.; SILVA JUNIOR, C.D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.23, p.7-13, 2010a.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVER, A.C.; TEXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.15-22, 2010b.

SILVA, E.N.S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A.R.; CORREA, A.R.; TOMAZ, P.K.; FERRAUDO, A.S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistemas de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.598-67, 2015.

SIMON, P.C.; CACATTO, A.P.; REOLON-COSTA, A.; CAMERA, J.N.; CATTANEO, R. Legislação e orientação técnica: perspectiva dos produtores frente ao uso de defensivos agrícolas. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.7, p.49926-49945, 2022.

SOUZA, M. **Manual da natureza**. São Paulo: Editora Europa. 2011. p.122-158.

SOUZA, M.E.P.; CARVALHO, A.M.X.; DELIBERALI, D.C.; JUCKSH, I.; BROWN, G.G.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecaulegy**, n.69 p.56-60, 2013.

SOUZA, P.T.; SILVA, T.C.; TROLEIS, M.J.B.; SENA, K.N.; SILVA, A.C.R.; SANTOS, T.E.B.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**, v.31, n.4, p.1949-1967, 2021.

SOLDAN, A.; WATZLAWICK, L.F.; BOTELHO, R.V.; FARIA, C.M.D.; MAIA, A.J. Development of Forestry Species Inoculated with *Trichoderma* spp. fertilized with rock phosphate. **Floresta e Ambiente**, v.25, n.4, 2018.

SUÁREZ, D.F.T.; LIMA, L.L.A.; LIMA, G.S.; PADILHA, V.M.; STAMFORD, T.L. M. Aplicabilidade de matérias primas vegetais para elaboração de bebidas funcionais. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Editora Científica digital, cap.33, v.4, 2021.

SUSTAKOWSKI, M.C. **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Brasil. 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5411> Acesso em: 12 de jul. 2023.

SHABANI, N.S.; RAMAIYA, S.D.; SAUPI, N.; BUJANG, J.S.; ZAKARIA, M.H. Effect of planting materials and organic amendments on the production of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) seedlings. **Pakistan Journal of Botany**, v. 54, n. 2, p. 619-627, 2022.

STANGARLIN, J.R.; KUHN, O.J.; TOLEDO, M.V.; PORTZ, R.L.; SCHWAN-ESTRADA, K.R.F.; PASCHOLATI, S.F.A. defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.10, n.1, p.18-46, 2010.

TAKAHARA, H.; HACQUARD, S.; KOMBRINK, A.; HUGHES, H.B.; HALDER, V.; ROBIN, G.P.; HIRUMA, K.; NEUMANN, U.; SHINYA, T.; KOMBRINK, E.; SHIBUYA, N.; THOMMA, B.P.; O'CONNELL, R.J. *Colletotrichum higginsianum* extracellular LysM proteins play dual roles in appressorial function and suppression of chitin-triggered plant immunity. **New Phytol**, v.211, n.4, p.1323-1337, 2016.

TORRES, F.E.; TEODORO, P.E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A.M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostado via modelos mistos. **Bragantia**, v.74, n.3, p.255-260, 2015.

THAKKER, J.N.; PATEL, S.; DHANDHUKIA, P.C. Induction of Defense-Related Enzymes in Banana Plants: Effect of Live and Dead Pathogenic Strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*. **ISRN Biotechnology**, v.13, p.6, 2013.

VADDEPALLI, P.; FULTON, L.; WIELAND, J.; WASSMER, K.; SCHAEFFER, M.; RANF, S.; SCHNEITZ, K. The cell wall-localized atypical β -1,3 glucanase ZERZAUST controls tissue morphogenesis in *Arabidopsis thaliana*. **Development**, v.144, n.12, p.2259-2269, 2017.

VARMA, A., TRIPATHI, S.; PRASAD, R. **Plant Biotic Interactions**. Springer, 2019, 321p.

VIEIRA, L.C.S.; COSTA, S.N.C.; BORGES, C.V.; GONÇALVES, Z.S.; HADDAD, F. Biocontrole de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* mediado por *Bacillus* spp. em banana Prata-anã. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, n.3, 2020a.

VIEIRA, R.C.; CASTRO, M.R.A.; DIAS, D.S.; SANTOS, D.B.; BERNARDINO, P. D.L.S.; SANTOS, M.A.S.; CARVALHO, F.I.M.; SILVA, P.A. In: **Produtos artesanais saborizados com flor de camomila: uma alternativa para a cadeia produtiva do maracujá doce. Tópicos em ciência dos alimentos**. Belém-PA: Editora Pantanal, 2020b. p. 21–37.

WOO, S.L.; HERMOSA, R.; LORITO, M.; MONTE, E. *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. **Nature Reviews Microbiology**, v.21, p.312-326, 2023.

YANG, P.; ZHAO, Z.; FÃ, J.; LIANG, Y.; BERNIER, M.C.; GAO, Y.; ZHAO, L.; OPIYO, S.O.; XIA, Y. *Bacillus proteolyticus* OSUB18 triggers induced systemic resistance against bacterial and fungal pathogens in *Arabidopsis*. **Frontiers in Plant Science**, v.14, p.1078100, 2013.

YASMIN, H.; NAZ, R.; NOSHEEN, A.; HASSAN, M.N.; ILYAS, N.; SAJJAD, M.; ANJUM, S.; GAO, X.; GENG, Z. Identification of new biocontrol agent against charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina* in Soybean (*Glycine max* L.). **Sustainability Switzerland**, v.12, n.17, 2020.

ZARGAR, S.M.; MAHAJAN, R.; BHAT, J.A.; NAZIR, M.; DESHMUKH, R. Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. **3Biotech**, v.73, p.1-16, 2019.

Capítulo 1

Variabilidade espacial da produtividade do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob desfolha artificial

Variabilidade espacial da produtividade do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob desfolha artificial

RESUMO: A aplicação de técnicas geoestatísticas contribui para a eficiência fitotécnica, redução custos de produção e beneficia o manejo de culturas. Nesse contexto, objetivou-se analisar a variabilidade espacial da produtividade em campo do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob o efeito da desfolha artificial. O experimento foi instalado no município de Cruz das Almas, Bahia. As amostragens foram constituídas por mensurações de cinco plantas e as coordenadas centrais em área de 15 m² (3 x 5 m). Os tratamentos foram dispostos em delineamento ao acaso, com arranjo fatorial 3x5 (fontes de nitrogênios: presença e ausência de N mineral, inoculação com a estirpe INPA 0311B e as porcentagens de desfolha (0, 25, 50, 75 e 100%), apresentadas em três blocos. A desfolha foi realizada manualmente com auxílio de uma tesoura, com base nos moldes. Foram realizadas amostragens em cinco pontos no fim do ciclo de 87 dias da cultura no campo. Para a análise da variabilidade espacial foram mensuradas: o comprimento médio de vagem; número de grãos por vagem; número de vagem por planta; número de grãos por planta; produção por planta; produtividade média. As variáveis avaliadas ajustaram-se ao modelo gaussiano, exceto a variável produtividade média que se ajustou ao modelo exponencial. Na área experimental houve dependência espacial, pois, o índice de dependência espacial (SDI) foi considerado forte. A variabilidade espacial evidencia que, a produtividade média do feijão-caupi inoculado é reduzida a partir de 50% de desfolha artificial.

Palavras-chave: Comportamento espectral, georreferenciamento, manejo integrado, *Vigna unguiculata* L.

Spatial variability of the productivity of cowpea bean inoculated with diazotrophic bacteria under artificial deforestation

ABSTRACT: The study with the geostatistics technique contributes to the phytotechnical efficiency, reduction of production costs and benefit of crop management. In this context, the objective was to analyze the spatial variability of field productivity of cowpea inoculated with diazotrophic bacteria under the effect of artificial defoliation. The experiment was installed in the municipality of Cruz das Almas, Bahia, in dystrophic Yellow Latosol, with a spacing of 0.2 m per plant. The samplings were fixed by measuring five plants and the coordinates in an area of 15 m² (3 x 5 m). The treatments were voluntary in a randomized design, with a 3x5 factorial arrangement (admission sources: presence and absence of mineral N, inoculation with the INPA 0311B strain and defoliation percentages (0, 25, 50, 75 and 100%), activated in three blocks. Defoliation was performed manually with the aid of scissors, based on the molds. Samplings were taken at five points at the end of the 87-day crop cycle in the field. For the analysis of spatial variability, the following measurements were taken: average length of pod; number of grains per pod; number of pods per plant; number of grains per plant; production per plant; average productivity. Experimental area there was spatial dependence, because the spatial dependence index (SDI) was considered strong. Shows that the average productivity of inoculated cowpea is reduced from 50% of artificial defoliation.

Key words: Integrated management, georeferencing, spectral behavior, *Vigna unguiculata* L.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), é uma das fontes alimentares mais importantes nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. No Brasil, sua produção destaca-se, nas regiões Norte e Nordeste, sendo produzido em diferentes sistemas de produção por grandes e pequenos produtores. Apesar da sua expressão regional, o bom desempenho dos cultivos de feijão-caupi, tem atraído empresários de outras regiões do país, como é o caso do Mato Grosso, que vem alcançando uma das maiores produções nacional, por ter uma boa aceitação no mercado interno e por conquistar novos mercados, sendo exportados para vários países da Europa (CONAB, 2020; 2023).

No entanto, uma das limitações significativa da sua produtividade é causada pela desfolha devido à incidência de insetos herbívoros durante o ciclo da planta, o que pode resultar em perdas significativas na colheita devido às modificações impostas à atividade fisiológica da planta, como consequência da redução da área da folhagem que reduz a capacidade fotossintética (LIMA-PRIMO et al., 2019; BRAULIO et al., 2021). O uso da inoculação com bactérias diazotróficas contribui para nutrição vegetal por fixar N, solubilizar nutrientes como o fósforo e torna as plantas do feijão-caupi resistentes à desfolha (BRAULIO et al., 2021, SOUSA et al., 2022).

Com o aumento do custo dos insumos agrícolas, exige-se a adoção de técnicas alternativas e ao mesmo tempo sustentáveis de produção e manejo das culturas anuais. Nesse sentido, estudos de mapeamento de áreas agrícolas têm subsidiado o manejo da produção agrícola, otimizando o manejo da fertilidade do solo (DALCHIAVON et al., 2011), crescimento das plantas (SANTOS et al., 2021) e incremento da produtividade do feijão-caupi (ANDRADE et al., 2021). No entanto, estudos com feijão-caupi ainda são escassos no Brasil, apesar de sua importância.

Nossa hipótese é que a compreensão da variabilidade espacial pode prever o comportamento do feijão-caupi sob os efeitos da desfolha e fixação de nitrogênio, possibilitando a quantificação da magnitude e grau de dependência espacial. Além disso, com uso de técnica de geoestatística pode-se descrever detalhadamente a variabilidade espacial das variáveis de produção com precisão, considerando semelhanças ou diferenças na variabilidade da produção. Diante disso, o estudo foi

desenvolvido com o objetivo de analisar a variabilidade espacial da produção de feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas, sob desfolha artificial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no período de maio à agosto do ano de 2018, na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), em Latossolo Amarelo distrófico, em área sem o uso de irrigação. A precipitação média registrada no período de realização do experimento foi de 77,55 mm, com umidade mínima e máxima de 99 e 84%, respectivamente, com média de 96,76 % e com temperatura mínima e máxima de 17,8 e 22,5 °C, com média de 20,22° C.

A avaliação do efeito da desfolha artificial no crescimento vegetativo e produtivo do feijão caupi sob inoculação com bactérias diazotróficas, com análise exploratória foi realizada por Braulio et al., (2021).

O preparo do solo antes do plantio consistiu de aração, gradagem e calagem (para a correção da acidez do solo). Após a demarcação dos sulcos, todos os tratamentos, receberam adubação fosfatada e potássica à base de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando como fontes o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. A testemunha com N mineral, além da adubação fosfatada e potássica, recebeu 70 kg ha⁻¹ de N (utilizando como fonte a ureia- 45% de N), parcelados em duas vezes, sendo aplicado 35 kg ha⁻¹ de N na época de semeadura e aos 35 dias após a emergência, respectivamente. A quantidade de fertilizante foi aplicada de acordo a necessidade da cultura, com base em análise química do solo. As caracterizações químicas e físicas do solo estão descritas com: pH (H₂O): 6,0; MO: 12,8 g dm⁻³, P (Mehlich 1): 10,5 mg dm⁻³, K⁺: 67,7 mg dm⁻³, Ca²⁺: 0,7 cmolc dm⁻³, Mg²⁺: 0,3 cmolc dm⁻³, (H+Al): 2,0 cmolc dm⁻³, SB: 1,2 cmolc dm⁻³, CTC efetiva: 1,4 cmolc dm⁻³, CTC potencial: 3,2 cmolc dm⁻³, V: 37,5%, Zn²⁺: 5,05 mg dm⁻³, Fe²⁺: 49,05 mg dm⁻³, Mn²⁺: 9,1 mg dm⁻³, Cu²⁺: 1,6 mg dm⁻³ e B: 0,28 mg dm⁻³; Areia: 538g kg⁻¹; Silte: 155 g kg⁻¹; Argila: 175g kg⁻¹.

A semeadura foi manual, sendo inseridas quatro sementes cultivar EPACE 10 por cova. A área foi diariamente monitorada para controlar possíveis problemas fitossanitários. O espaçamento entre plantas foi de 0,2 m e o espaçamento entre

linhas foi de 1 m, sendo 75 plantas por parcelas, totalizando em 3.375 plantas, com área total de 75 x 11 m.

Os tratamentos foram constituídos por mensurações de cinco plantas em cada tratamento e as coordenadas centrais em área de 15 m² (3 x 5 m). Foram cinco linhas de plantio por parcelas, sendo três linhas úteis (centrais) e duas linhas como bordaduras (laterais). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 3x5. Os tratamentos foram apresentados em três blocos e variaram pelas fontes de nitrogênios (presença e ausência de N mineral e inoculação com a estirpe INPA 0311B - SEMIA 6463 (*Bradyrhizobium elkanni*) (LACERDA et al., 2004) e as porcentagens de desfolha (0, 25, 50, 75 e 100%) (Figura 1).

Figura 1. Percentagens de desfolha do feijão-caupi aos 45 dias após a semeadura, estágio fenológico R2.



Autora: Caliane Braulio

A desfolha artificial foi realizada manualmente com auxílio de uma tesoura e moldes referente a cada nível de desfolha, aos 45 dias após a semeadura. Os moldes utilizados para realizar a desfolha referente a cada porcentagem, foram confeccionados conforme Moura et al. (2014). Assim os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6 N mineral (0%), T7 N mineral (25%), T8 N mineral (50%), T9 N mineral (75%) e T10 N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).

Após a coleta de dados em cinco plantas por parcela em locais geograficamente distribuídos com sensores para análise goestatística, foram

realizadas a coleta de dados através de medições diretas aos 87 dias de cultivo. As variáveis de produção do feijão-caupi avaliadas em 10 plantas por parcelas foram: Comprimento médio de vagem (CMV); Número de grãos por vagem (NGV); Número de vagem por planta (NVP); Número de grãos por planta (NGP) e Produtividade média (PHA). A PHA foi determinada multiplicando o valor da produção por planta (g) pelo número de plantas por hectare, em que os dados foram transformados em kg ha^{-1} . Com o valor obtido em cada parcela foi estimada a produção em 1 (um) ha, tomando-se por base a área útil de 1m^2 onde as plantas foram colhidas, e os dados foram transformados em kg ha^{-1} . Para determinação da massa de 100 grãos, produção por planta e PHA, foi realizado a correção de umidade das sementes para 13%, em que as sementes foram submetidas a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ em estufa, por 24 horas, segundo BRASIL (1992).

Para análise exploratória, os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk a 5% de significância e submetidos à análise de variância utilizando-se o Programa estatístico “R” (R Development Core Team, 2023). Em função do nível de significância foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Foi feita análise de regressão para os tratamentos quantitativos e teste de média, para os qualitativos.

Por meio da geoestatística foram analisados os semivariograma com base nos parâmetros, obtendo o melhor modelo pelos critérios: alcance (Ao), índice de dependência espacial (IDE) e o coeficiente de determinação (R^2).

O índice de dependência espacial (IDE) foi classificado de acordo com Cambardella et al., (1994), utilizado por Bhunia et al. (2018), definido a partir dos parâmetros baseado no tamanho relativo do efeito pepita e patamar. Sendo; dependência espacial forte $\leq 25\%$; dependência espacial moderada entre 25% e 75% e dependência espacial fraca quando o IDE é $\geq 75\%$ (1):

$$\text{IDE} = \frac{\gamma(h)_{\text{pepita}}}{\gamma(h)_{\text{total}}} * 100 \quad (1)$$

Em que: IDE - Índice de dependência espacial, $\gamma(h)$ pepita - semivariância do efeito pepita e $\gamma(h)$ total - semivariância total ou patamar.

A interpolação foi realizada pelo método da krigagem ordinária, obtendo os mapas de variabilidade espacial das variáveis em estudo, através do programa Geostatistics for the Environmental Sciences -GS+® 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliação dos componentes de produção do feijão-caupi, houve interação entre as fontes de nitrogênio e os níveis de desfolha para as variáveis número de grãos por planta (NGP), produtividade média (PHA) (Tabela 1).

Plantas inoculadas com a estirpe INPA 03-11B, apresentaram maiores valores médios em todas as variáveis avaliadas em relação as demais fontes de nitrogênio (Tabela 1 e 3). O aumento na nodulação e nas taxas de fixação de nitrogênio são capazes de sustentar o crescimento das plantas, devido a maior disponibilidade de nutrientes para absorção das plantas, principalmente o nitrogênio (HTWE et al., 2019).

No NGP, ao nível de 100% de desfolha, verificou-se queda de 56,71% da produção, em relação ao nível de 0% de desfolha. A PHA do feijão-caupi é reduzida a partir de 50% de desfolha artificial na fase reprodutiva, dispensado o uso de controles de pragas desfolhadoras até esse nível (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva de variáveis de produção número de grãos por planta (NGP) e produtividade média (PHA) do feijão caupi em função das fontes de nitrogênio e as porcentagens de desfolha.

	Desfolha artificial (%)				
	0%	25%	50%	75%	100%
NGP (grãos planta ⁻¹)					
INPA 03-11B	128,27 a	181,37a	162,53a	137,27a	73,81a
SN	151,28 b	152,37b	129,43b	113,77b	41,73b
CN	129,05b	135,34b	126,22b	137,00a	39,31b
CV (%)	8,92	8,92	8,92	8,92	8,92
PHA (kg ha ⁻¹)					
INPA 03-11B	1715,4a	1942,1a	1792,6a	1367,8a	641,1a
SN	1136,7b	1446,7b	1418,4b	864,8c	275,2b
CN	972,4b	1455,4b	1254,0b	1128,9b	284,8b
CV (%)	9,85	9,85	9,85	9,85	9,85

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. NVP (vagem planta⁻¹), NGP (grãos planta⁻¹), PP (g planta⁻¹), PHA (kg ha⁻¹). Dados extraídos de Braulio et al. (2021).

Para comprimento médio da vagem (CMV), número de grãos por vagem (NGV) e número de vagem por planta (NVP) houve efeito individual das porcentagens de desfolha ($p < 0,05$) (Tabela 2). Para o CMV houve a redução a partir de 75 %. Para o NVP e NGV houve redução a partir de 50%. Menores valores médios dos componentes de produção foi observado quando as plantas foram submetidas a porcentagem de 100% desfolha (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis comprimento médio da vagem (CMV), número de vagem por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) em função das porcentagens de desfolha.

Desfolha artificial	CMV (cm planta ⁻¹)	NVP (vagem planta ⁻¹)	NGV (grãos vagem ⁻¹)
0%	15,41a	21,39a	8,12a
25%	15,92a	20,87a	8,34a
50%	15,09a	16,84b	7,96a
75%	14,51b	17,71b	7,31a
100%	12,39b	8,00c	5,89b
CV (%)	5,86	8,9	5,39

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados extraídos de BRAULIO et al. (2021).

Houve efeito individual para inoculação ($p < 0,05$) para as variáveis CMV e NVP (Tabela 3). Plantas inoculadas com a estirpe INPA 03-11B resultaram em maiores valores médios (16,54 cm planta⁻¹ e 17,9 vagens planta⁻¹, respectivamente) em relação aos tratamentos adubação com N mineral e sem adubação nitrogenada e sem inoculação, que não se diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis comprimento médio da vagem (CMV) e número de vagem por planta (NVP) em função das fontes de nitrogênio.

Fontes de N	CMV (cm planta ⁻¹)	NVP (vagem planta ⁻¹)
INPA 03-11B	16,54 a	17,94 a
Sem Nitrogênio mineral	14,10 b	16,51 b
Com Nitrogênio mineral	13,36 b	16,42 b
CV (%)	5,86	8,90

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados extraídos de BRAULIO et al. (2021).

Os parâmetros dos modelos de semivariogramas indicaram, dependência espacial das variáveis do feijão caupi (Tabela 4). A verificação de dependência indica que valores desses atributos são espacialmente correlacionados, em que sua distribuição não é casual, e que o espaçamento utilizado na amostragem foi suficiente para revelar a dependência entre os valores, que a estática clássica não se aplica.

Os modelos de semivariograma de melhor ajuste das variáveis Comprimento médio de vagem (CMV), Número de grãos por vagem (NGV), Número de vagem por planta (NVP) e Número de grãos por planta (NGP) foi o gaussiano e, exponencial para Produtividade média (PHA) (Tabela 4). Em estudo realizado por

avaliando a variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro IAC Carioca, o modelo gaussiano se ajustou em todas as variáveis avaliadas (DALCHIAVON et al., 2011).

Tabela 4. Parâmetros dos modelos geoestatísticos selecionados para Comprimento médio de vagem (CMV); Número de grãos por vagem (NGV); Número de vagem por planta (NVP); Número de grãos por planta (NGP); Produtividade média (PHA) do feijão-caupi inoculado com bactérias diazotróficas sob desfolha artificial

Variável	Modelo	Co	Co+C	Ao	IDE	R ²
CMV	Gaussiano	0,20	4,38	4,26	4,57	0,92
NGV	Gaussiano	0,07	1,54	3,36	4,55	0,92
NVP	Gaussiano	0,01	28,36	4,66	0,035	0,98
NGP	Gaussiano	1,00	2031,00	4,97	0,049	0,98
PHA	Exponencial	1000,00	3253,00	8,86	0,30	0,92

Co - Efeito Pepita; Co+C – Patamar; Ao – Alcance; IDE – Índice de dependência espacial. R² - coeficiente de determinação.

O índice de dependência espacial (IDE) foi considerado forte ($\leq 25\%$) (Tabela 1), conforme a classificação de Cambardella et al. (1944). Em relação aos Ao, as variáveis de produção do feijão-caupi variaram entre 3,36 a 8,86 m, valores maiores que os pontos amostrados (Tabela 4).

O modelo de dependência espacial de variáveis de produção aplicando-se a geoestatística possibilita verificar a área de maior e menor produção e viabiliza o manejo racional de uma zona específica (SOARES et al., 2023) e assim, contribui para redução dos insumos agrícolas e possibilita o controle de insetos desfolhadores.

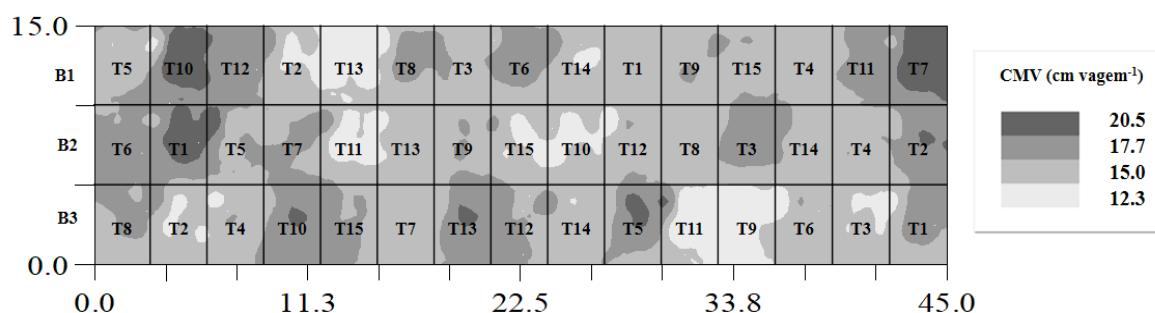
Os mapas da krigagem ordinária evidenciaram as variações de produção do feijão-caupi deste estudo (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

O uso da inoculação e a porcentagens de desfolha até 50% reduzem a perda de água na planta do feijão-caupi devido a redução da área foliar (Tabela 1, 2 e 3), uma vez que a água é perdida pelas folhas (gutação) através dos estômatos. As plantas liberam água também, através do processo de transpiração no estado gasoso (PRESTI et al., 2022). Com a redução da área foliar, as plantas gastam menos energia para absorverem água no solo, liberar água pelo estômato e transpirar (BEECHEY-GRADWELL et al., 2022), o que favorece o aumento da produção (MONDAL et al., 2011; BRAULIO et al., 2021).

A inoculação compensa a desfolha pelo fornecimento de nitrogênio, que atua na estruturação das células vegetais (BRAULIO et al., 2021), pela disponibilidade de P através da solubilização do fosfato (COSTA et al., 2016; BRAULIO et al., 2021) e pelo estímulo de produção de raízes secundárias através da produção de hormônios (ÇAKMAKÇI et al., 2020). Assim, a planta explora melhor o solo e absorve maior quantidade de água e nutrientes (Tabela 4, Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

Para o CMV os menores valores estão situados na faixa de 11.3 e 33.8m nas extremidades do lado direito e esquerdo do mapa, e na região central (11.3 e 22.5m) (Figura 2), sendo representados pela maioria dos tratamentos sem inoculação (T2, T9, T11, T13, T14 e T15). Maior produção, é representado pelos tratamentos T1, T3, T5, T6, T7, T10 com desfolha de até 50 %, está situada na região de tonalidade forte do mapa com CMV de 20.5 cm vagem⁻¹.

Figura 2. Distribuição espacial, em metros do comprimento médio das vagens-CMV (cm planta⁻¹) de feijão-caupi. T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6 N mineral (0%), T7: N mineral (25%), T8: N mineral (50%), T9: N mineral (75%) e T10: N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).



Para NGV e NVP os tratamentos T1, T3, T4, T6, T7 e T11 apresentaram maiores rendimentos, principalmente quando inoculado com a estirpe INPA 0311B, houve influência também, dos tratamentos com N mineral (Figuras 3 e 4). Menores pontos de produção podem ser visualizados para os tratamentos T2, T9, T10, T11, T14 e T15.

Maior desempenho para o tratamento inoculado em relação aos demais tratamentos, deve-se a capacidade competitiva da estirpe INPA 0311B com os rizóbios nativos do solo (COSTA et al., 2016), sua eficiência simbiótica com a

cultura do feijão-caupi (COSTA et al., 2016; BRAULIO et al., 2021), como também aos efeitos dos hormônios (auxinas, citocinina, giberilinas e ácidos giberélico) produzidos pelas bactérias diazotróficas na FBN que estimulam o crescimento vegetal (ÇAKMAKÇI et al., 2020; OMOMOWO et al., 2022).

Figura 3. Distribuição espacial, em metros do número de grãos por vagens - NGV (grãos vagens⁻¹) de feijão-caupi. T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6: N mineral (0%), T7: N mineral (25%), T8: N mineral (50%), T9: N mineral (75%) e T10: N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).

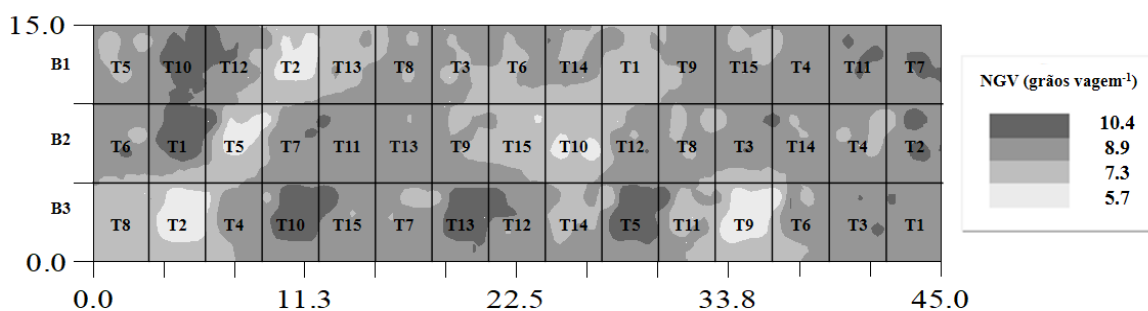
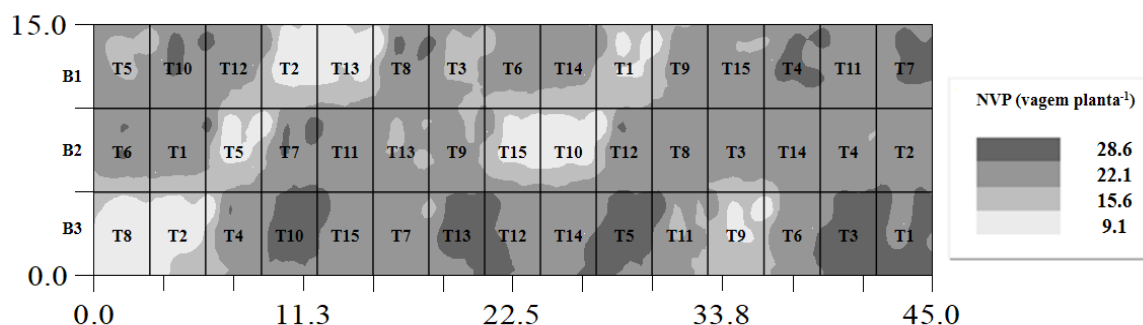
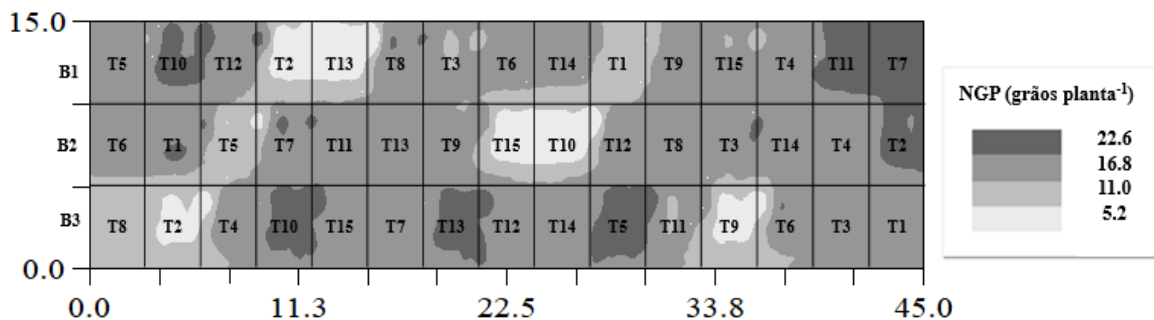


Figura 4. Distribuição espacial, em metros do número de vagens por planta - NVP (vagens planta⁻¹) de feijão-caupi. T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6: N mineral (0%), T7: N mineral (25%), T8: N mineral (50%), T9: N mineral (75%) e T10: N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).



Para o NGP menores produções do feijão-caupi foram observadas para os tratamentos T2, T9, T13 e T15 em sua maioria com desfolha acima de 50%. Maiores produções de grãos foram observadas nos tratamentos T1, T4, T5, T7, T10, T11 e T13 (Figura 5).

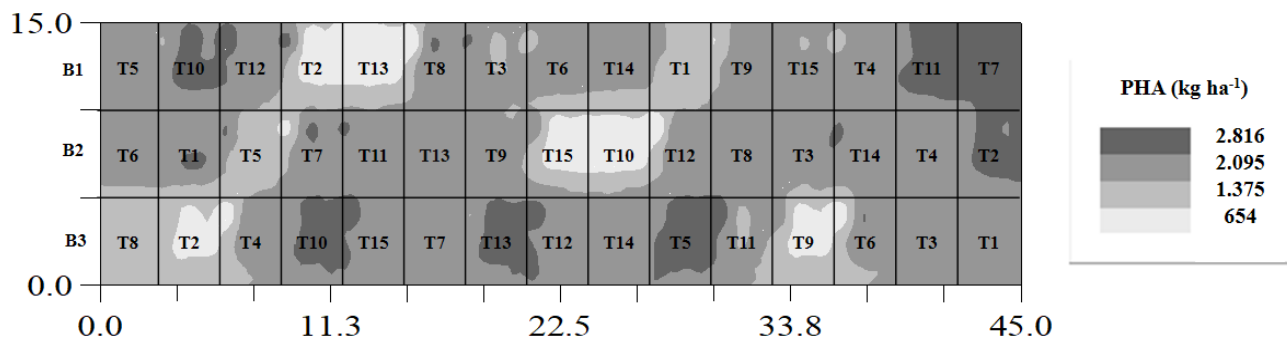
Figura 5. Distribuição espacial, em metros do número de grãos por planta – NGP (grãos planta⁻¹) de feijão-caupi. T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6: N mineral (0%), T7: N mineral (25%), T8: N mineral (50%), T9: N mineral (75%) e T10: N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).



Para PHA maior produção é observada nas regiões sul e leste do mapa pelos tratamentos T5, T7, T10, T11 e T13 (Figura 6). Menores produtividades estão situadas nos tratamentos T2 e com níveis críticos de desfolha (acima de 50%) (T9, T13 e T15). Os níveis críticos de desfolha diminuí consideravelmente a fotossíntese da planta, devido a perda foliar, com isso, a produtividade da cultura pode reduzir drasticamente, principalmente em estádios fenológicos em que há uma maior demanda de fotossíntese para seu pleno desenvolvimento (BERNARDES et al., 2014). A inoculação com a estirpe INPA 03-11B, foi benéfica a plantas por desencadear resposta fisiológica de tolerância a perda foliar sem afetar sua produção até 50% de desfolha, provavelmente pela influência na produção de fotoassimilados através do fornecimento de N, fundamental para composição da molécula de clorofila que atua na fotossíntese e no armazenamento e transporte de energia e conseqüentemente no aumento do crescimento e produção (NYOKI; NDAKIDEMI, 2014).

As bactérias diazotróficas, atuam também na solubilização de nutrientes disponíveis no solo cultivado, como o fósforo, que é componentes de vários constituintes celulares e desempenha papéis importantes em vários processos-chave, como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular e aumento celular (NYOKI; NDAKIDEMI, 2014; BRAULIO et al., 2021, SOUSA et al., 2021), que pode também, ter contribuído para maior tolerância das plantas a desfolha e favorecido a sua produtividade.

Figura 6. Distribuição espacial, em metros da produtividade – PHA (kg ha^{-1}) de feijão-caupi. T1: Estirpe INPA 0311B (0%), T2: Estirpe INPA 0311B (25%), T3: Estirpe INPA 0311B (50%), T4: Estirpe INPA 0311B (75%) e T5: Estirpe INPA 0311B (100%); T6: N mineral (0%), T7: N mineral (25%), T8: N mineral (50%), T9: N mineral (75%) e T10: N mineral (100%); T11: Testemunha absoluta (0%), T12: Testemunha absoluta (25%), T13: Testemunha absoluta (50%), T14: Testemunha absoluta (75%) e T15: Testemunha absoluta (100%).



Para as variáveis NVP, NGV, NGP e PHA a área de produção que vai das coordenadas 0.00 ao 11.3 do lado direito ao esquerdo do mapa e do centro do mapa a até a coordenada 33.8 (lado esquerdo), apresentaram menores produções (Figura 3, 4, 5 e 6). A variabilidade do solo influencia no desenvolvimento e produtividades das culturas, devido ao seu uso, manejo e propriedades físicas, químicas e biológicas, mesmo sob parcelas experimentais consideradas homogêneas (SOUZA et al., 2021; SOARES et al., 2023). O solo está naturalmente sujeito à variação de seus atributos físicos e químicos no espaço e no tempo, resultante da complexa interação entre pedologia, topografia e clima (ARAÚJO et al., 2018).

Os mapas apresentaram comportamento similar, com uma região bem definida de maiores produtividades na extremidade do mapa (região leste e sul) observado pela área de tonalidade forte de acordo a escala de cinza. As menores produções se concentram na região oeste e central do mapa (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5). Através do mapa foi possível evidenciar que a produtividade média do feijão-caupi inoculado é reduzida na área a partir de 50% de desfolhamento artificial durante a fase produtiva, conforme encontrado por Braulio et al. (2021). Em estudo realizado por Johann et al., (2010) foi possível verificar a distribuição espacial de cada variável no campo, observando-se regiões, com maior ou menor produtividade de feijão da variedade Carioca cultivar *Juriti*, lucro ou prejuízo e perdas manuais e mecânicas na colheita.

Os resultados demonstram que a partir da utilização de técnicas de agricultura de precisão, há possibilidade de intervir em pontos necessários apontados pelos resultados e aumentar a produtividade do feijão-caupi, baseado no conhecimento da variação do rendimento de grãos de local para local e determinar a partir de qual porcentagem de desfolha são necessárias medidas de controles.

A técnica geoestatística permitiu identificar os pontos de maior e menor produção na área de estudo, o que não é possível na estatística descritiva. A simulação geoestatística na construção de mapas, reproduz as características globais, a continuidade espacial e as estatísticas da amostra (SOARES et al., 2023). A partir dos mapas de variabilidade espacial de produtividade, torna-se possível investigar a incidência de insetos desfolhadores em algumas regiões da área estudada, bem como, monitorar possível danos causados pela desfolha, sugerindo eventualmente um manejo fitossanitário imediato no intuito corrigir o problema em zonas específicas.

O uso da geoestatística possibilita que o agricultor de médio a grande porte que otimizem a produção agrícola, através do gerenciamento da variabilidade espacial da produção e os fatores a ela relacionados. A partir dos resultados obtidos no presente estudo, evidencia-se que o estudo da variabilidade espacial contribui para o Sistema de Manejo Agroecológico de Pragas, sendo uma ferramenta útil para monitorar o ataque de insetos desfolhadores e de prever o comportamento das plantas com incidência. Dando suporte ao técnico na tomada de decisão a respeito da adoção de controle localizado a ser utilizado individualmente na zona de manejo, bem como, o momento exato para entrar com o controle racional, levando em consideração o nível de tolerância da cultura à desfolha, o que gera custo/benefício para o produtor devido a redução dos custos com aplicação de inseticidas, permite a preservação dos inimigos naturais e reduz os custos de produção e do impacto ambiental causado pelo excesso de produtos químicos.

4. CONCLUSÕES

O índice de dependência espacial (IDE) foi considerado forte ($\leq 25\%$). A geoestatística previu o comportamento da cultura através de imagens, evidenciando que a produtividade média no feijão-caupi inoculado com a estirpe INPA 03-11B é reduzida a partir de 50% de desfolha artificial. O conhecimento da

distribuição espacial da produção do feijão-caupi permite manejar a área de acordo com as necessidades da cultura, em função da desfolha e da inoculação.

5. REFERENCIAS

ANDRADE, A.S.; SILVA, M.T.; SERRÃO, E.A.O.; SILVA, P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P.; BRAGA, C.C. Explorando a dependência espacial da produtividade do feijão-caupi usando estatísticas globais e locais de autocorrelação na região do Cariri oriental da Paraíba. **Ciência Rural**, v.51, p.1-9, 2021.

ARAÚJO, D.C.S.; Montenegro, S.M.G.L.; Montenegro, A.A. A.; SILVA JUNIOR, V.P.; SANTOS, S.M. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.38-44, 2018.

BEECHEY-GRADWELL, Z.; KADAM, S.; BRYAN, G.; COONEY, L.; NELSON, K.; RICHARDSON, K.; COOKSON, R.; WINICHAYAKUL, S.; REID, M.; ANDERSON, P.; CROWTHER, T.; ZOU, X.; MAHER, D.; XUE, H.; SCOTT, R.; ALLAN, A.; STEWART, A. Roberts, *Nlolium perenne* engineered for elevated leaf lipids exhibits greater energy density in field canopies under defoliation. **Field Crops Research**, v.275, p.1-12, 2022.

BERNARDES, T.G.; SILVEIRA, P.M.; MESQUITA, M.A.M.; CUNHA, P.C.R. Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Bioscience Journal**, v.30, n.2, p.458-468, 2014.

BHUNIA, G.S.; SHIT, P.K.; CHATTOPADHYAY, R. Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). **Annals of Agrarian Science**, v.16, p.436-443, 2018.

BRAULIO, C.S.; SILVA, L.F.L.; SILVA, C.S.; CORREIA, A. J. ROCABADO, J.M.A.; NÓBREGA, R.S.A. Can inoculation with diazotrophic bacteria decrease the productivity loss of defoliated *Vigna unguiculata* (L.) Walp? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.189-196, 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, v.7 – safra 2019/20 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p.1-62, 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.10 – Safra 2022/23, n.7 - Sétimo levantamento, p.1-106, 2023.

CAMBARDELLA, C. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

ÇAKMAKÇI, R.; MOSBER, G.; MILTON, A.H.; ALATÜRK, F.; ALI, B. The Effect of Auxin and Auxin-Producing Bacteria on the Growth, Essential Oil Yield, and

Composition in Medicinal and Aromatic Plants. **Current Microbiology**. v.77, p.564-577, 2020.

COSTA, E.M.; CARVALHO, F.; NÓBREGA, R.S.A.; SILVA, J.S.; MOREIRA, F.M.S. Bacterial strains from floodplain soils perform different plant-growth promoting processes and enhance cowpea growth. **Scientia Agrícola**, v.73, p.301-310, 2016.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.O.; FREDDI, O.S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v.70, p.908-916, 2011.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. GSLIB: Geostatistical Software Library and user's guide. 2.ed. **New York: Oxford University Press**, 1998. 369p.

HTWE, A.Z.; MOH, S.M.; SOE, K.M.; MOE, K.; YAMAKAWA, T. Effects of Biofertilizer Produced from *Bradyrhizobium* and *Streptomyces griseoflavus* on Plant Growth, Nodulation, Nitrogen Fixation, Nutrient Uptake, and Seed Yield of Mung Bean, Cowpea, and Soybean. **Agronomy**, v.9, p-1-12, 2019.

JOHANN, J.A.; SILVA, M.C.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DALPOSSO, G.H. Variabilidade espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.700-714, 2010.

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B.; SOARES, A.L.L. Yield and nodulation of cowpea inoculated with selected strains. **Revista Ceres**, v.51, p.67-82, 2004.

LIMA-PRIMO, H.E.; HALFELD-VIEIRA, B.A.; NECHET, K.L.; SOUZA, G.R.; MIZUBUTI, E.S.G.; OLIVEIRA, J.R. Influence of bacterial blight on different phenological stages of cowpea. **Scientia Horticulturae**, v.255, p.44-51, 2019.

NYOKI, D.; NDAKIDEMI, P.A. Effects of Phosphorus and *Bradyrhizobium japonicum* on Growth and Chlorophyll Content of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). **American Journal of Experimental Agriculture**, v.4, n.10, p.1120-1136, 2014.

OMOMOWO, O.I.; BABALOLA, O.O. Genomic Insights into Two Endophytic Strains: *Stenotrophomonas geniculata* NWUBe21 and *Pseudomonas carnis* NWUBe30 from Cowpea with Plant Growth-Stimulating Attributes. **Applied Sciences**, v.12, p.1-17, 2022.

PRESTI, D.L.; DI TOCCO, J.; MASSARONI, C.; CIMINI, S.; GARA, L.; SINGH, S.; RAUCCI, A.; MANGANIELLO, G.; WOO, S.L.; SCHENA, E. CINTI, S. Current understanding, challenges and perspective on portable systems applied to plant monitoring and precision agriculture. **Biosensors and Bioelectronics**, p. 115005, 2022.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, M.P.A.; SANTOS, A.C.; CHAN, G.A.H.; DALCIN, M.S.; ROCHA, W.S.; LEITE, O.C. Variabilidade espacial de características morfofisiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.9, p.369-376, 2021.

SOARES, M. F.; TIMM, L.C.; SIQUEIRA, T.M.; SANTOS, R.C.V.; REICHARDT, K. Assessing the spatial variability of saturated soil hydraulic conductivity at the watershed scale using the sequential Gaussian co-simulation method. **Catena**, v.221, p.106756, 2023.

SOUSA, J.X.; CORREIA, A.J.; DIAS, A.J.C.; SILVA, C.C.; LEAL, P.L.; ROCABADO, J.M.A.; MORREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A. The *Bradyrhizobium uaiense* strain UFLA 03-164T enhanced yield performance of cowpea in soils with low or high phosphorus content. **Bioscience Journal**, v.38, n.e38065, p.1981-3163, 2022.

SOUZA, P.T.; SILVA, T.C.; TROLEIS, M.J.B.; SENA, K.N.; SILVA, A.C.R.; SANTOS, T.E.B.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**, v.31, p.1949-1967, 2021.

Capítulo 2

Cultivo de *Passiflora edulis* Sims inoculado com bactérias diazotróficas em substratos organominerais

Cultivo de maracujazeiro inoculado com bactérias diazotróficas em substratos organominerais

RESUMO: Microrganismos auxiliam na solubilização e mineralização dos nutrientes presentes nos colóides minerais e orgânicos aumentando a disponibilidades para as plantas. Diante disso, o estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da inoculação com bactérias diazotróficas associada aos substratos organominerais no cultivo de maracujazeiro. Testes in vitro foram realizados para detectar a capacidade de quatro estirpes de bactérias em produzir enzimas hidrolíticas, solubilizar o pó de rocha e colonizar as raízes do maracujazeiro. Para avaliar a promoção de crescimento e nutrição de mudas foram realizados dois experimentos em casa de vegetação. Em ambos os experimentos, os tratamentos foram constituídos da estirpe UFLA 03-84 e dos isolados UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1, e UFRB NA32B1 (apenas no primeiro experimento) e duas testemunhas: uma com N mineral e uma sem N mineral e sem inoculação, sob os substratos de cultivo. Os isolados UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1, produzem enzimas extracelulares como auxinas, urease, celulase, catalase, amilase, e protease, sendo os dois primeiros os mais expressivos, além do potencial na solubilização do pó de rocha. As médias de pH, condutividade elétrica, teores de Na, Si e de K foram maiores no meio de cultura inoculado com a estirpe UFLA 03-84. As bactérias diazotróficas têm habilidade em colonizar o sistema radicular de plantas de maracujá in vitro. A inoculação com a estirpe UFLA 0384 e o substrato de construído de solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, apresentaram maior potencial para o crescimento, índice de qualidade de Dickson e nutrição de mudas de maracujazeiro, aos 60 e 90 dias após a semeadura.

Palavras-chave: *Bradyrhizobium viridifuturi*, enzimas extracelulares *Passiflora edulis* Sims, rochagem.

Cultivation of passion fruit inoculated with diazotrophic bacteria in organomineral substrates

ABSTRACT: Microorganisms help in the solubilization and mineralization of nutrients present in mineral and organic colloids, increasing availability for plants. Therefore, the study was developed with the objective of evaluating the effect of inoculation with diazotrophic bacteria associated with organomineral substrates in passion fruit cultivation. *In vitro* tests were performed to detect the ability of four strains of bacteria produce hydrolytic enzymes, solubilize rock dust and colonize passion fruit roots. To evaluate the promotion of growth and nutrition of seedlings, two experiments were carried out in a greenhouse. In both experiments, the treatments consisted of the strain UFLA 0384 and the isolates UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1, and UFRB NA32B1 (only in the first experiment) and two controls: one with N mineral and one without mineral N and without inoculation, under the culture substrates. The isolates UFRB FA72A2-1, UFRB FA34C2-2 and UFRB NA32B1, produce extracellular enzymes such as auxins, urease, cellulase, catalase, amylase, and protease, the first two being the most expressive, in addition to their potential in rock dust solubilization. The mean pH, electrical conductivity, Na, Si and K contents were higher in the culture medium inoculated with the strain UFLA 0384. Diazotrophic bacteria have the ability to colonize the root system of passion fruit plants *in vitro*. The inoculation with the UFLA 0384 strain and the soil constructed substrate + organic fertilizer + rock dust, showed greater potential for growth, Dickson quality index and nutrition of *P. edulis* Sims seedlings, at 60 and 90 days after the sowing.

Key-words: *Bradyrhizobium viridifuturi*, extracellular enzymes, *Passiflora edulis* Sims, rock gem.

1. INTRODUÇÃO

O maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims) é uma espécie de importância econômica dentre as frutas tropicais, sendo uma das principais representantes da fruticultura brasileira e destaque no setor em exportações e consumo interno, com a produção de 683.993 toneladas em 2021 (IBGE, 2021). Práticas agrícolas, como uso de mudas de qualidade morfofisiológica e sanitária, além da fertilização adequada são determinantes para o sucesso do pomar (SILVA et al., 2021a; SILVA et al., 2021b; RODRIGUES et al., 2022).

Para ampliar a possibilidade de cultivo com menor consumo de insumos agrícolas sem reduzir a produtividade, a seleção e uso de bactérias promotoras de crescimento corresponde a uma biotecnologia sustentável (SILVA et al., 2018). A inoculação destes microrganismos promove o crescimento vegetal (clorofilas, crescimento radicular, massas secas das plantas e nutrição) através da melhoria do *status* nutricional (BRAULIO et al., 2020; SOUSA et al., 2022; MOREIRA et al., 2023), atua no antagonismo a patógenos, estimulam a defesa (SILVA et al., 2018; Silva et al., 2019; RODRIGUES et al., 2022) e pode promover a tolerância das plantas ao ataque de praga desfolhadora (Braulio et al., 2019). Isto se dá em função de várias funções importantes que são capazes de realizar tais como: a produção de fitohormônios, antibióticos, ácido hidrociânico, enzimas líticas, sideróforos (SILVA et al., 2018), solubilização de nutrientes e fixação de nitrogênio (COSTA et al., 2016; MARINHO et al., 2017; LEE et al., 2019; RODRIGUES et al., 2022; SOUSA et al., 2022).

Tecnologias que podem se associar a inoculação com microrganismos promotores de crescimento no manejo da fertilidade do solo e de substrato de cultivo, são a rochagem e adubação orgânica. Os microrganismos são capazes de interagir com os minerais do pó de rocha (ADHIKARI et al., 2019; LEE et al., 2019; SANTOS et al., 2021) e adubação orgânica e acelerar o processo de solubilização e disponibilidade de nutrientes para as plantas (OMER et al. 2016; SETHI et al., 2021). O sílicio, quando fornecido no substrato de cultivo, favorece o crescimento das plantas por contribuir na melhoria do estado nutricional, transpiração e, em alguns aspectos da eficiência fotossintética das plantas, além de influenciar na sua resistência aos fatores bióticos e abióticos (ADHIKARI et al., 2019).

Um substrato considerado adequado para produção de mudas de qualidade deve fornecer boas condições de retenção de água, relação satisfatória de entre macro e microporosidade, ausência de fitopatógenos e disponibilidade de nutrientes para o crescimento de plantas (SETHI et al., 2021; SILVA et al., 2021). Desse modo, a utilização de substrato orgânomineral pode fornecer nutrientes ao solo e quando associado com bactérias capazes de solubilizar nutrientes, estas podem acelerar o processo de absorção pelas plantas, por disponibilizar os constituintes presentes no substrato de cultivo com prontidão e assim, fornece condições favoráveis ao crescimento das mudas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação com bactérias diazotróficas em combinação com os substratos organominerais sobre as características morfológicas e nutricionais relacionadas ao crescimento de mudas de maracujazeiro.

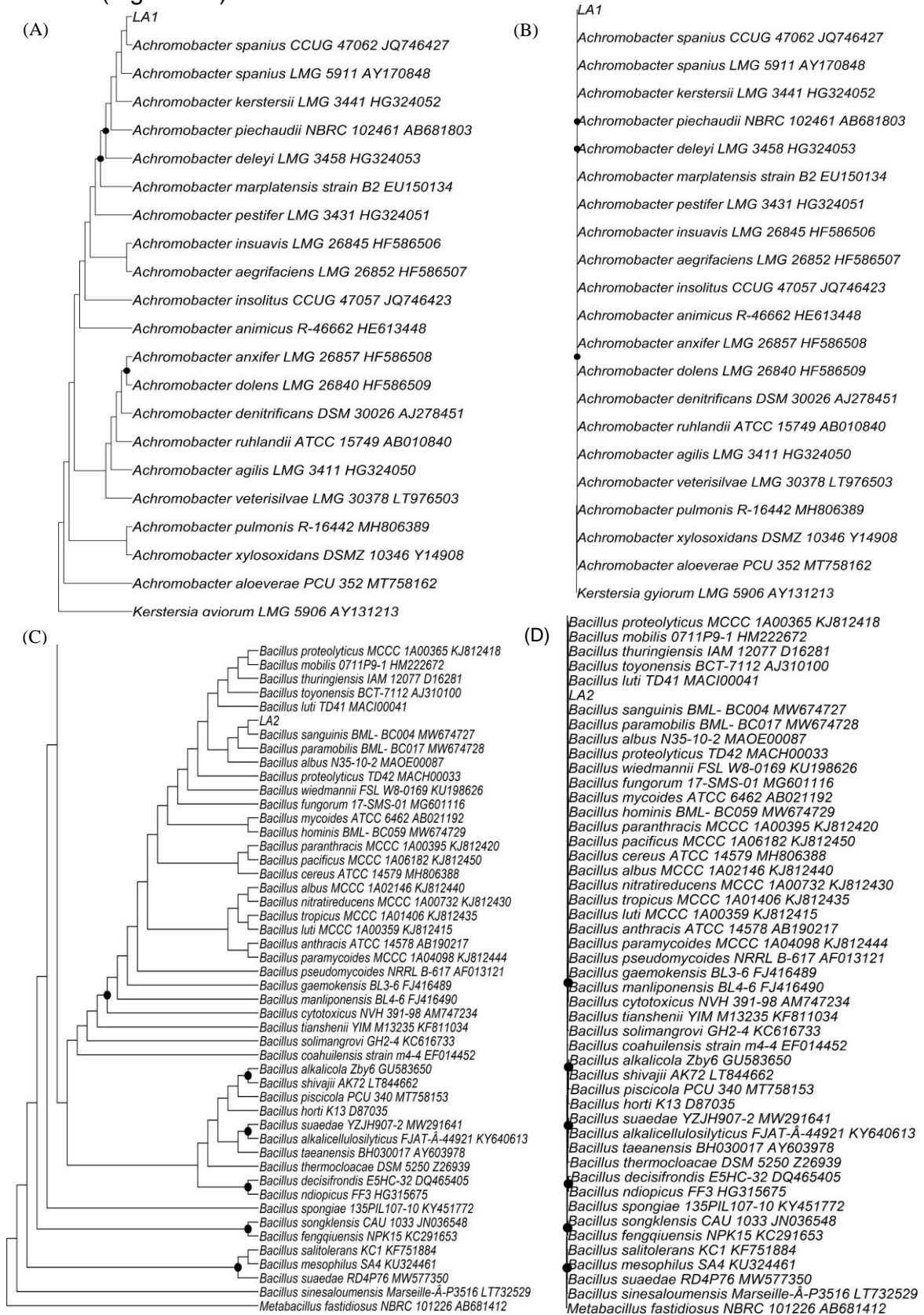
2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização bioquímica e genética das estirpes

Para caracterização genéticas das estirpes UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1, foi realizado o sequenciamento da região do DNA que codifica o gene 16S rRNA, em que o isolado UFRB FA34C2-2 (código da amostra: LA1) foi considerado pertencente ao gênero *Achromobacter*, sendo o *Achromobacter spanius* LMG 5911 (acesso AY170848) o Táxon mais próximo, com 99,30% (Figura 1). A estirpe UFRB FA72A2-1 (código da amostra: LA2) foi considerada pertencente ao gênero *Bacillus*, sendo que o *Bacillus proteolyticus* TD42 (acesso MACH01000033) o táxon mais próximo, com 98,81% de similaridade. O isolado UFRB NA32B1, apresentou baixa identidade de sequência (< 94%) (Figura 1). O sequenciamento foi realizado pelo laboratório Agrega Pesquisa e Desenvolvimento em Biotecnologia Ltda e ACTGene Análises Moleculares Ltda.

As estirpes UFRB FA72A2-1, UFRB FA34C2-2 e UFRB NA32B1 foram avaliados quanto as suas habilidades em sintetizar auxinas, urease, enzimas hidrolíticas (catalase, celulase, protease, pectinase e amilase) (ALVES, 2006; CATTELAN, 1999, HANKIM; ANAGNOSTAKIS, 1975, LAMICHHANE; VARVARO, 2013, LEGER et al., 1997, OKURA; RENDE, 2008).

Figura 1. Cladograma inferido por Máxima Verossimilhança abrangendo todas as sequências de 16S rDNA de espécies tipo de *Achromobacter* (Figura 1 A) e de *Bacillus* (Figura 1 C) e árvore filogenética inferida por ML abrangendo todas as sequências de 16S rDNA de espécies tipo de *Achromobacter* (Figura 1B) e *Bacillus* (Figura 1D).



2.2 Avaliação da solubilização de pó de rocha por bactérias diazotróficas

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, cinco fontes de N (sem bactéria; UFRB FA34C2-2; UFRB FA72A2-1; UFLA 03-84; UFRB NA32B1) e duas doses de pó de rocha silicatada (ausência - SP e presença - 0,5 g (CP)), com três repetições, totalizando 30 parcelas.

O ensaio *in vitro* foi conduzido em erlenmeyers de 250 mL, contendo os diferentes tratamentos em 50 mL de meio caldo nutriente constituído de 5 g de NaCl, 5 de peptona, 1,5 g de extrato de carne e 1,5 de extrato de levedura em 1000 mL de água destilada (Merck, Alemanha). Para os tratamentos contendo bactéria, inoculou-se 1 ml da suspensão bacteriana. Os frascos foram incubados a 30°C em agitação a 160 rpm por 35 dias, com avaliações ao 7º, 21º e 35º dia para determinar pH e condutividade elétrica.

No 35º dia, o conteúdo dos frascos foi filtrado em papel filtro Whatman nº01 a vácuo e no filtrado foram avaliados o teor de potássio e sódio em fotômetro de chama e teor de silício em absorção atômica, além do pH e condutividade elétrica.

2.3 Habilidade de bactérias diazotróficas em colonizar o sistema radicular de plântulas de maracujazeiro

Para detectar a habilidade das bactérias em colonizar o sistema radicular de plântulas de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims, BGP190) foi realizado um bioensaio no Laboratório de Biologia do Solo na UFRB, que consistiu em microbiolizar as sementes com as estirpes UFLA 03-84, UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1 por 24h em erlenmeyers contendo caldo nutritivo, na concentração de 10^8 UFC mL⁻¹, e um controle adicional, somente com água destilada estéril.

As sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 20% por dois minutos, lavadas com água destilada esterilizada e com subsequentes três enxagues (CAVALCANTE et al., 2001). Em seguida, foram lavadas três vezes em água estéril, deixadas imersos após a inoculação com as bactérias diazotróficas por 24 horas e transferidas para ágar-água estéril a 0,6% em tubos (Silva et al., 2003). Posteriormente, as sementes foram colocadas para germinar em tubos de

ensaio contendo ágar-água. Mantidos em BOD com fotoperíodo e temperatura de 28°C no período de 15 dias. Para confirmar a colonização foi feito o isolamento das raízes em placa de petri em meio nutriente-ágar.

2.4 Arranjo experimental e condições de cultivo

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação, localizada na fazenda experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, campus Cruz das Almas – BA, localizada nas coordenadas 12°39'27" latitude Sul e 39°04'58" de longitude Oeste, a uma altitude de 215 m, sendo o primeiro experimento no período de fevereiro a maio de 2022 e o segundo experimento no período de julho a outubro do 2022.

No primeiro experimento, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 4, seis fontes de nitrogênio (sem inoculação e sem adubação (SI)); inoculação com as estirpes UFLA 03-84, UFRB NA32B1, UFRB FA34C2-2 e UFRB FA72A2-1, de acordo com cada tratamento; fonte mineral com 48 mg dm³) e quatro substratos de cultivo (solo + fertilizante orgânico + fonte de silício; solo + fertilizante orgânico; solo + fonte de silício; solo puro), com 10 repetições, totalizando 240 parcelas.

No segundo experimento, foi utilizado delineamento semelhante ao experimento 1, com exceção da fonte de nitrogênio da estirpe UFRB NA32B1, o qual não promoveu crescimento das mudas no experimento 1. Sendo instalado no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 4, cinco fontes de nitrogênio e quatro substratos de cultivo, com 8 repetições, totalizando 160 parcelas.

Os isolados bacterianos identificados como: UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1 em fase de teste, foram obtidos da coleção de culturas do laboratório de Biologia do Solo da UFRB, isoladas de uma área com histórico de manipueira do município de Vitória da Conquista (Sousa, 2017) e a estirpe *B. viridifuturi* – UFLA 03-84 (SEMIA 6461) oriunda da Universidade Federal de Lavras, autorizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2011) como inoculantes para feijão-caupi (LACERDA et al., 2004; COSTA et al., 2019).

A adubação do solo foi realizada com base na necessidade da cultura na fase de plantio nos experimentos 1 e 2 (150 kg ha⁻¹ N, 120 kg ha⁻¹ de P e 20 kg ha⁻¹ de K) (BORGES; ROSA, 2009). No tratamento com N mineral, além da adubação nitrogenada com dose de 41 mg dm⁻³ de N (ureia), foi adicionado 41 mg dm⁻³ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 4,8 mg dm⁻³ de K₂O (cloreto de potássio).

Em tratamentos com fonte de silício foi adicionado 0,48 g dm⁻³ de pó de rocha por tubete de polietileno com capacidade de 280 cm³. As doses de pó de rocha nos experimentos 1 e 2 foram baseadas na dose de 9,52g dm³ de Si avaliada por Linhares (2019), em maracujazeiro. Todas as doses foram calculadas considerando o volume do recipiente.

O tratamento com fonte mineral, além da adubação nitrogenada, foi adicionado 18 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 21 mg dm⁻³ de K₂O. As fontes dos nutrientes N, P e K foram as mesmas utilizadas no experimento 1: ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Em tratamentos com fonte de silício foi adicionado 2,08 g dm⁻³ de pó de rocha por saco, cada saco de polietileno 0,12 x 0,20 m e capacidade de 1,02 dm³.

Os diferentes recipientes foram preenchidos com os seguintes substratos de cultivo: [1] Solo + fertilizante orgânico (2: 1; v:v) + fonte de silício [2] Solo + fertilizante orgânico (2: 1; v:v); [3] Solo + fonte de silício; [4] Solo puro. O solo foi um Latossolo Amarelo distrófico distrocoeso Típico (LadT) coletado, na camada subsuperficial (> 40 cm de profundidade). As características químicas e físicas do solo são: pH (H₂O): 5,0, pH KCl: 4,0, ΔpH= 1,1; MO: 1,43 kg¹ g kg⁻¹, P (Mehlich 1): 0,04 mg dm⁻³, K⁺: 39,01 mg dm⁻³, Ca²⁺: 0,7 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺: 0,6 cmol_c dm⁻³, (H+Al): 1,9 cmol_c dm⁻³, Na: 0,17 (cmol_c kg⁻¹), SB: 40,32 cmol_c dm⁻³, CTC efetiva: 1,81 cmol_c dm⁻³, CTC potencial: 3,21 cmol_c dm⁻³, V: 40,81%. Areia: 514g kg⁻¹; Silte: 104 g kg⁻¹; Argila: 382g kg⁻¹, Argila dispersa em água: 94 g kg⁻¹; Grau de flocculação: 193 g kg⁻¹; Condutividade elétrica do solo: 0,13 dS m⁻¹.

O fertilizante orgânico foi produzido na UFRB e oriundo da compostagem formada de podas de árvores, esterco bovino e caprino, numa relação 3:1:1, a caracterização química é: pH (CaCl₂ 0,01 M): 7,60; pH (CaCl₂ 0,01 M): 7,6; MO total: 13,96%; N total: 0,60%; P₂O₅ total: 1,36%; K₂O total: 0,75%; Ca total: 0,98%; Mg total: 0,21%; S total: 0,07%; C/N: 9,0; Cu total: 2 mg kg⁻¹; Mn total: 200 mg kg⁻¹; Zn total: 85 mg kg⁻¹; Fe total: 10089 mg kg⁻¹; B total: 5 mg kg⁻¹; Na total: 1274 mg kg⁻¹. A análise química do pó de rocha®, segundo o fabricante: (%): SiO₂: 58,3;

Al₂O₃: 13,3; Fe₂O₃: 7,15; CaO: 6,09; MgO: 4,36; TiO₂: 0,47; P₂O₅: 0,73; Na₂O: 1,36; K₂O: 5,44; MnO: 0,24; Ensaio de perda de fogo (LOI): 3,04. Cujas a granulometria é de 0,3 mm.

Semearam-se duas sementes de maracujá (acesso BGP190 do Banco de Germoplasma de Frutos da Embrapa Mandioca e Fruticultura) por recipiente, a 1 cm de profundidade e irrigadas diariamente. Aos 15 dias após a semeadura foi realizado o desbaste das plantas de maracujazeiro, deixando a muda mais vigorosa.

Foram adicionados 1 e 2 mL do inoculante bacteriano sobre as sementes desinfestadas no primeiro e segundo experimento. Nos controles foi adicionado 1 mL do inoculante no primeiro experimento e 2 mL do inoculante no segundo experimento do meio sobre as sementes desinfestadas, sem o inóculo.

2.4.1 Características morfofisiológicas e nutricionais

Nos experimentos 1 e 2, as mudas foram avaliadas aos 60 e 90 dias após a semeadura, respectivamente, as seguintes variáveis: altura; diâmetro do caule, número de folhas, clorofilas *a*, *b* e clorofila total (*a* + *b*), e comprimento da raiz. Posteriormente, parte aérea e raízes das mudas foram separadas e secas em estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 65 °C por 48 horas, determinando-se, massa seca da parte aérea, raiz e total e o Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON et al.;1960).

A parte aérea seca de três plantas de cada tratamento foram selecionadas para análise dos teores (%) de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (TEDESCO; VOLKWEISS; BOHNEN, 1995). O acúmulo de N, P e K na parte aérea foi calculado multiplicando-se a massa seca da parte aérea (g) * (% de N, P e K, respectivamente).

2.5 Análises estatística

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de análise de variância. As médias das fontes de nitrogênio foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As médias dos substratos (experimentos 1 e 2) foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o experimento de

solubilização, as médias das doses do pó de rocha foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico R (R Core Team, 2023).

3. RESULTADOS

3.1 Atividade enzimática extracelular

Houve a produção de enzimas auxinas e amilases por todas as estirpes de bactérias diazotróficas, enquanto que, para o sideróforos e pectinase, não houve produção pelas bactérias testadas. Apenas o isolado UFRB FA72A2-1 produziu celulase, e para protease e catalase houve produção para os isolados UFRB FA72A2-1 e UFRB FA34C2-2, apenas o isolado UFRB NA32B1 produziu urease (Tabela 1).

Tabela 1. Características bioquímicas e fisiológicas de bactérias diazotróficas

Enzimas	Bactérias		
	UFRB FA34C2-2	UFRB FA72A2-1	UFRB NA32B1
Siderofóro	-	-	-
Auxina	+	+	+
Urease	-	-	+
Celulase	-	+	-
Catalase	+	-	+
Amilase	+	+	+
Pectinase	-	-	-
Protease	+	+	-

+ (produz); - (não produz)

Os isolados *A. spanius* e *B. proteolyticus* exibiram atividade proteolítica, sendo observável com a formação de halos transparentes ao redor das colônias (Tabela 1). O isolado *B. proteolyticus* é capaz de hidrolisar celulose, na qual apresenta a formação de halos alaranjados ao redor das colônias.

3.2 Avaliação da solubilização de pó de rocha por bactérias diazotróficas *in vitro*

Para o pH houve efeito individual dos tratamentos avaliados e interação entre as fontes de N e pó de rocha (Tabela 2) e interação entre pó de rocha e dias de avaliação (Tabela 3) ($p < 0,05$).

O tratamento com a estirpe *B. viridifuturi* na presença e ausência de pó de rocha no meio de cultura apresentou maiores médias, em relação aos demais tratamentos. Menores médias de pH foram observadas nos tratamentos, *B. proteolyticus*, UFRB NA32B1 e controle na presença de pó de rocha, respectivamente. Já na ausência de pó de rocha o tratamento controle apresentou menor pH (Tabela 2).

Tabela 2. Médias do pH do meio de cultura caldo nutritivo sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas e pó de rocha.

Tratamentos	SP	CP
UFLA 03-84	8,44Ab	9,25Aa
UFRB FA34C2-2	8,27Ab	8,76Ba
UFRB FA72A2-1	8,07Bb	8,55Ca
UFRB NA32B1	8,06Ba	8,26Ca
Controle	6,80Cb	8,25Ca
Média	7,93b	8,61a
CV (%)		3,84

CP: com pó de rocha; SP: sem pó de rocha e sem inoculação. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Na avaliação realizada no 7º dia do pH, maior média foi obtida para o tratamento com a estirpe UFLA 03-84. Dentre as bactérias avaliadas menores valores de pH foram observados para UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1. O tratamento controle, manteve o mesmo valor do pH inicial (Tabela 3).

Tabela 3. Médias do pH do meio de cultura sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas em diferentes intervalos de avaliação.

Tratamentos	7º dia	21º dia	35º dia
UFLA 03-84	8,7Ab	9,1Aa	8,7Ab
UFRB FA34C2-2	8,1Bb	8,7Aa	8,8Aa
UFRB FA72A2-1	7,8Cc	8,8Aa	8,4Bb
UFRB NA32B1	7,4Dc	8,9Aa	8,2Cb
Controle	7,3Db	7,4Bb	7,8Ca

CP: com pó de rocha; SP: sem pó de rocha e sem inoculação. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve aumento do pH do 7º dia para o 21º dia de avaliação, em todos os tratamentos avaliados. Aos 21º dias de avaliação, maior valor de pH foi observado para o tratamento UFLA 03-84. Os tratamentos UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e UFRB NA32B1 se mostraram de forma similar. Menor média de pH aos 21º dias

de avaliação foi observada para o tratamento controle com 6,8. No 35º dia de avaliação, houve um decréscimo nas médias do pH dos tratamentos, exceto para o tratamento UFRB FA34C2-2, que manteve a mesma média de pH, em relação 21º dia de avaliação. Maiores médias de pH foram observadas para os tratamentos UFLA 03-84 e UFRB FA34C2-2, respectivamente. Para o controle não houve diferença do pH nos intervalos de avaliação (Tabela 3).

Para condutividade elétrica houve efeito individual dos tratamentos e interação entre as bactérias diazotróficas, pó de rocha e dias de avaliações. Houve aumento crescente da condutividade elétrica, a cada intervalo de avaliação nos tratamentos UFLA 03-84, UFRB FA34C2-2 e UFRB FA72A2-1 com e sem pós de rocha (Tabela 4).

Para condutividade elétrica do meio de cultura, houve efeito significativo da inoculação com bactérias diazotróficas e do pó de rocha em diferentes intervalos de avaliação. Maiores médias de condutividade elétrica foram observadas para os tratamentos com pó de rocha, sendo o tratamento UFLA 03-84, com média superior aos demais tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Médias da condutividade elétrica (CE) do meio de cultura sob efeito da inoculação com bactérias diazotróficas e do pó de rocha em diferentes intervalos de avaliação.

Tratamentos	Sem pó de rocha	Com pó de rocha
	7º dia	
Controle	9,27 Cb	10,39 Ba
UFLA 03-84	10,12 Ab	11,93 Aa
UFRB FA34C2-2	8,72 Db	10,55 Ba
UFRB FA72A2-1	9,53 Ba	9,78 Ca
UFRB NA32B1	9,80 Bb	10,84 Ba
	21º dia	
Controle	11,90 Aa	9,00 Cb
UFLA 03-84	11,80 Aa	12,07 Ba
UFRB FA34C2-2	9,90 Cb	11,68 Ba
UFRB FA72A2-1	11,07 Bb	12,60 Aa
UFRB NA32B1	12,23 Aa	12,10 Ba
	35º dia	
Controle	9,94 Cb	11,59 Ba
UFLA 03-84	12,02 Ab	12,96 Aa
UFRB FA34C2-2	10,41 Bb	11,47 Ba
UFRB FA72A2-1	12,04 Ab	12,89 Aa
UFRB NA32B1	11,96 Ab	13,07 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Para o controle com o pó de rocha houve redução da média de condutividade elétrica na 21º avaliação e um aumento na 35º avaliação. O aumento

está relacionado ao aumento da salinidade do meio (Na^+) em função do cultivo microbiano. Resultado inverso foi observado para o controle na ausência de pó de rocha, em que maior média foi observada na 21^o inoculação, enquanto que, na 7^o e 35^o avaliação as médias foram estatisticamente iguais. Esse comportamento também foi observado para o tratamento UFRB NA32B1 sem pó de rocha. Enquanto que com pó de rocha, tem acréscimo à medida que houve aumento nos intervalos de avaliação (Tabela 4).

Maiores médias de Na^+ e Si foram observadas para os tratamentos com a presença de pó de rocha. O tratamento UFLA 03-84 com e sem pó de rocha apresentaram maiores médias de Na^+ e Si, em relação aos demais tratamentos, seguido do tratamento UFRB FA72A2-1 para Na^+ e do tratamento UFRB FA34C2-2 para o Si, com e sem pó de rocha respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração de sódio (Na^+) e silício (Si) disponíveis no meio de cultura líquido sem [SP] e com pó de rocha [CP] sobre efeito da inoculação com bactérias diazotróficas.

Estirpes bacterianas	Na^+ (mg L^{-1})	
	[CP]	[SP]
UFLA 03-84	13,91Aa	6,38Ab
UFRB FA34C2-2	3,74Ca	2,15Bb
UFRB FA72A2-1	12,70Ba	5,71Ab
UFRB NA32B1	2,74Ca	1,55Bb
CV (%)	10,49	10,49
Estirpes bacterianas	Si (mg L^{-1})	
	[CP]	[SP]
UFLA 03-84	16,97Aa	5,73Aa
UFRB FA34C2-2	13,23Ba	3,71Bb
UFRB FA72A2-1	6,29Ca	1,41Cb
UFRB NA32B1	4,10Da	0,99Cb
CV (%)		9,74

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Em relação a concentração de K^+ , houve interação entre as estirpes bacterianas e o pó de rocha silicatado ($p < 0,05$), enquanto para a ausência de pó de rocha, não houve efeito significativo ($p > 0,05$), exceto para o tratamento com a estirpe UFLA 03-84. O tratamento UFLA 03-84 com adição de pó de rocha, apresentou maior concentração de K^+ , em relação aos demais tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Concentração de potássio (K⁺) disponível no meio de cultura líquido sobre efeito da inoculação com bactérias diazotróficas.

Tratamentos	K ⁺ (mg L ⁻¹)
UFLA 03-84	16,69a
UFRB FA34C2-2	1,50b
UFRB FA72A2-1	1,42b
UFRB NA32B1	0,38c
CV (%)	25,32

Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3 Detecção da habilidade de bactérias diazotróficas em colonizar o sistema radicular de plantas de maracujazeiro *in vitro*

Sementes de maracujazeiro inoculadas com bactérias diazotróficas germinaram primeiro que as sementes não inoculadas (controle), *in vitro*. Observou-se, que no tratamento controle o sistema radicular do maracujazeiro não se desenvolveu em relação aos tratamentos com inoculação. O isolamento das raízes confirmou a colonização das bactérias diazotróficas.

3.4 Experimentos da inoculação com bactérias diazotróficas em mudas cultivadas em substratos organomimerais

No primeiro experimento em tubete (280 cm³) verificou-se interação entre os substratos de cultivo e as fontes de N para todas as variáveis avaliadas em mudas de maracujazeiro (Tabelas 7), exceto para o diâmetro do caule, que houve efeito individual para os substratos e as fontes de N ($p < 0,05$) (Tabela 8). No segundo experimento houve interação do substrato de cultivo e inoculação com bactérias diazotróficas em todas as variáveis avaliadas ($p < 0,05$) (Tabela 9).

Para os índices de clorofila a, b e total, as mudas inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e cultivadas com o substrato constituído de solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, apresentaram maiores médias em relação aos demais tratamentos, seguido das mudas submetidas ao N mineral, aos 60 e 90 DAS. Mudas inoculadas com os isolados UFRB FA34C2-2 e UFRB FA72A2-1 e cultivadas com o substrato solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, apresentaram maiores médias em relação ao isolado UFRB NA32B1 e o controle sem inoculação e sem N mineral, que quando associados aos substratos contendo apenas solos, apresentaram mudas com menores médias das clorofilas, respectivamente (Tabelas 7 e 9).

Tabela 7. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do o substrato de cultivo e fontes de N, aos 60 dias após a semeadura

Substratos	Fontes de N		Clorofila a			
	UFLA 03-84	UFRB NA32B1	UFRB FA72A2-1	UFRB FA34C2-2	C/N	S/N
SFP	37,23Aa	29,33Ea	32,13Ba	30,56Da	35,17Ca	29,84Ea
SF	35,83Ab	27,57Db	30,45Cb	30,45Cb	33,68Bb	28,00Db
SP	32,84Ac	26,09Cc	28,43Bc	27,85Bc	32,52Ac	25,29Dc
Solo puro	27,92Ad	23,67Cd	24,12Cd	24,22Cd	25,01Bd	22,45Dd
CV (%)						2,48
Clorofila b						
SFP	15,28Aa	10,14Da	10,95Ca	11,04Ca	12,72Ba	8,98Ea
SF	14,90Aa	9,62Ca	9,29Db	9,99Cb	10,50Bb	8,59Cab
SP	13,86Ab	9,00Cb	9,20Cbc	9,28Cc	9,94Bb	8,13Db
Solo puro	12,78Bc	7,85Ec	8,68Dc	13,41Ad	9,23Cc	7,00Fc
CV (%)						4,69
Clorofila total						
SFP	52,51Aa	39,47Ea	47,08Ca	43,35Da	47,89Ba	38,82Ea
SF	50,73Ab	37,19Eb	42,52Cb	40,44Db	44,18Bb	36,59Eb
SP	46,70Ac	35,09Dc	39,20Cc	37,13Cc	42,46Bc	33,42Ec
Solo puro	40,70Ad	31,52Ed	32,80Dd	37,63Bc	34,25Cd	29,45Fd
CV (%)						2,22
Altura (cm planta ⁻¹)						
SFP	20,16Aa	16,89Da	17,88Ca	18,59Ba	17,80Ca	17,02Da
SF	18,12Ab	15,33Db	16,47Cb	16,98Bb	16,89Bb	15,70Db
SP	14,89Ac	9,97Cc	11,85Bc	11,68Bc	11,90Bc	884Dc
Solo puro	14,02Ad	7,71Cd	8,77Bd	9,01Bd	9,19Bd	7,48Cd
CV (%)						3,65
Número de folha (nº folha planta ⁻¹)						
SFP	8,1Aa	7,4Ba	7,0Ca	6,7Ca	6,5Ca	6,8Ca
SF	7,0Ab	7,0Aa	6,5Aa	6,6Aa	6,5Aa	6,8Aa
SP	6,6Abc	5,3Bb	5,3Bb	5,1Bb	5,2Bb	4,8Bb
Solo puro	6,1Ac	4,7Cb	4,8Cb	5,1Bb	5,3Bb	4,5Cb
CV (%)						10,71
Comprimento da raiz (cm)						
SFP	21,15Aa	19,43Ba	19,53Ba	19,55Ba	17,81Ca	16,69Da
SF	20,09Ab	18,79Bab	19,00Ba	19,88Aa	17,00Ca	14,81Db
SP	20,32Ab	18,32Bbc	17,87Bb	20,32Aa	15,89Cb	13,06Dc
Solo puro	16,98Ac	17,36Ac	15,58Bc	17,95Ab	15,52Bb	12,26Cc
CV (%)						5,14
Massa seca parte área (g planta ⁻¹)						
SFP	0,99Aa	0,50Da	0,50Da	0,59Ca	0,91Ba	0,50Da
SF	0,89Ab	0,40Eb	0,42Db	0,50Cb	0,51Bb	0,40Cb
SP	0,59Ac	0,20Dc	0,26Dc	0,20Dc	0,30Bc	0,18Ec
Solo puro	0,40Ad	0,15Dd	0,16Cd	0,15Dd	0,20Bd	0,13Ed
CV (%)						0,88
Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)						
SFP	0,60Aa	0,40Ca	0,40Ca	0,40Ca	0,50Ba	0,20Db
SF	0,50Ab	0,40Db	0,39Cb	0,40Ba	0,40Bb	0,25Ea
SP	0,39Ac	0,19Cc	0,14Dc	0,09Eb	0,20Bc	0,08Fc
Solo puro	0,28Ad	0,06Ed	0,08Cd	0,07Dc	0,10Bd	0,06Ed
CV (%)						1,02
Massa seca total (g planta ⁻¹)						
SFP	1,59Aa	0,90Da	0,90Da	1,00Ca	1,41Ba	0,79Ea
SF	1,39Ab	0,72Eb	0,88Db	0,90Cb	0,91Bb	0,66Fb
SP	0,97Ac	0,39Cc	0,39Cc	0,29Dc	0,50Bc	0,26Ec
Solo puro	0,68Ad	0,21Ed	0,24Cd	0,22Dd	0,30Bd	0,19Fd
(CV%)						0,64

Tabela 7. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do substrato de cultivo e fontes de N, aos 60 dias após a semeadura.

Fontes de N		(conclusão)				
		Índice de Qualidade de DICKSON				
Substratos	UFLA 03-84	UFRB NA32B1	UFRB FA72A2-1	UFRB FA34C2-2	C/N	S/N
SFP	0,31Aa	0,13Da	0,17Ca	0,18Ca	0,25Ba	0,12Da
SF	0,26Ab	0,11Db	0,14Cb	0,14Cb	0,17Bb	0,10Da
SP	0,17Ac	0,10Bb	0,07Cc	0,06Cc	0,11Bc	0,07Cb
Solo puro	0,06Ad	0,05Bc	0,07Ac	0,05Bc	0,07Ad	0,04Bc
CV (%)						18,0
Acúmulo de N (mg planta ⁻¹)						
SFP	43,78Aa	14,30Ea	17,51Da	21,64Ca	33,32Ba	8,64Fa
SF	24,81Bb	7,29Db	12,99Cb	14,19Bb	14,45Bb	6,10Eb
SP	13,84Ac	3,12Dc	4,35Cc	4,32CBc	6,62Bc	2,46Dc
Solo puro	6,92Ad	2,00Cd	2,42Cd	2,30Cd	3,12Bd	1,64Cc
CV (%)						3,5
Acúmulo de P (mg planta ⁻¹)						
SFP	7,78Aa	2,38Da	3,31Ca	3,69Ca	6,90Ba	3,31Ca
SF	6,23Ab	1,98Cab	3,16Ba	2,94Ba	3,18Bb	1,62Cb
SP	3,26Ac	0,85Bbc	1,78Bb	1,18Bb	1,46Bc	0,53Bbc
Solo puro	1,81Ad	0,45Bb	0,51Bb	0,51Bb	0,74Bc	0,29Bc
CV (%)						21,33
Acúmulo de K (mg planta ⁻¹)						
SFP	5,00Aa	1,85Da	2,39Ca	3,02Ba	4,90Aa	1,53Da
SF	2,38Ab	1,42Ba	1,71Bb	0,54Bb	1,81Bb	1,18Ba
SP	1,62Ac	0,46Bb	0,75Bc	2,67Ac	0,95Bc	0,54Bb
Solo puro	1,06Ad	0,40Bb	0,38Bc	0,33Bc	0,56Bc	0,29Bb
CV (%)						19,27

SFP= Solo + fertilizante orgânico + pó de rocha; SF= solo + fertilizante orgânico; SP= solo + pó de rocha. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C/N: com N mineral; S/N: sem N mineral e sem inoculação.

As mudas inoculadas com a estirpe UFLA 03-84, seguida do isolado UFRB FA34C2-2, apresentaram maiores altura, número de folhas, e comprimento da raiz, nos dois experimentos e do diâmetro do caule no experimento 2, em todos os substratos de cultivos, com médias superiores quando cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e solo + fertilizante orgânico, respectivamente ($p < 0,05$) aos 60 e 90 DAS (Tabelas 7 e 9).

Mudas inoculadas com isolado UFRB FA34C2-2, apresentaram maiores médias dessas variáveis, em relação ao UFRB FA72A2-1. No experimento 1, mudas inoculadas com o isolado UFRB NA32B1 obtiveram mudas com médias inferiores, em relação as demais bactérias. Mudas submetidas ao controle sem inoculação e sem N mineral e adubadas com solo + pó de rocha e solo puro,

apresentaram menores número de folha, comprimento da raiz e diâmetro do caule em todos os substrato de cultivo, nos experimentos 1 e 2 (Tabelas 7 e 9).

Para a massa seca da parte área, de raiz e total e Índice de Qualidade de Dickson as mudas inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e cultivadas com os substratos constituídos de solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e de solo + fertilizante orgânico, apresentaram maiores médias em relação aos demais tratamentos, seguido do tratamento com N mineral ($p < 0,05$), aos 60 e 90 DAS (Tabelas 7 e 9). Enquanto que, plantas cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e inoculadas com os isolados UFRB FA34C2-2 e UFRB FA72A2-1, apresentaram as médias dessas variáveis superiores a testemunha sem inoculação e sem N mineral e ao substrato constituído apenas de solo.

No experimento 1 plantas inoculadas com isolado UFRB NA32B1 apresentaram menores médias dessas variáveis em relação as demais bactérias, exceto para a massa seca da raiz, em que plantas inoculadas com isolados UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, não diferiram entre si (Tabela 7). No experimento 2, plantas cultivadas com o mesmo substrato e inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e o isoaldo UFRB FA34C2-2 e submetidas a adubação com N mineral, apresentaram maiores médias, sem diferença entre si (Tabela 9).

No experimento 1, mudas inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e adubadas com N mineral apresentaram diâmetro do caule superiores aos demais tratamentos avaliados, que não se diferiram entre si ($p < 0,05$) (Tabela 8).

Tabela 8. Diâmetro do caule de *Passiflora edulis* Sims sob efeitos individuais da inoculação (Fontes de N) e dos substratos de cultivos aos 60 dias após a semeadura.

Fontes de N	Diâmetro do caule (mm planta ⁻¹)
UFLA 03-84	0,30a
UFRB FA72A2-1	0,24b
UFRB FA34C2-2	0,26b
NA32B1	0,24b
C/N	0,29a
S/N	0,25b
CV (%)	16,14
Substratos	Diâmetro do caule (mm planta ⁻¹)
SFP	0,32a
SF	0,29b
SP	0,24c
Solo	0,22d
CV (%)	16,4

SFP= Solo + fertilizante orgânico + pó de rocha; SF= solo + fertilizante orgânico; SP= solo + pó de rocha. Médias seguidas da mesma na letra na coluna pertence ao mesmo grupo pelo teste

de Skott-Knott a 1% e não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os substratos.

Em relação ao substrato, plantas cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha exibiram maior diâmetro do caule, provavelmente pela maior diversidade e disponibilidade de nutrientes para absorção. Menores diâmetro do caule foram observados nas mudas cultivadas somente com solo (Tabela 8).

Tabela 9. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do substrato de cultivo e inoculação com bactérias diazotróficas, aos 90 dias após a semeadura

Substratos	Fontes de N		Clorofila a		
	UFLA 03-84	UFRB FA34C2-2	UFRB FA72A2-1	C/N	S/N
SFP	45,66Aa	40,69Ca	40,40Ca	44,15Ba	29,90Da
SF	39,73Ab	35,55Bb	34,12Bb	39,90Ab	28,60Db
SP	35,26Ac	30,76Cc	29,61Dc	34,06Bc	27,57Ec
Solo puro	29,99Ad	28,44Bd	26,18Cd	26,03Cd	23,95Dd
CV (%)					2,25
Clorofila b					
SFP	20,31Aa	19,14Ba	16,15Db	17,73Ca	11,08Ea
SF	19,74Ab	13,98Db	18,06Ba	16,43Cb	9,05Eb
SP	12,19Ac	12,21Ac	11,95Ac	11,01Bc	9,08cb
Solo puro	10,99Ad	10,06Ad	10,66Ad	9,93Bd	9,19Cb
CV (%)					3,19
Clorofila total					
SFP	65,92Aa	59,83Ca	56,15Da	61,86Ba	40,96Ea
SF	59,46Ab	49,53Db	52,23Cb	56,33Bb	37,65Eb
SP	47,45Ac	42,98Cc	41,54Dc	45,08Bc	36,65Ec
Solo puro	40,98Ad	38,50Bd	36,84Cd	35,95Cd	33,14Dd
CV (%)					1,96
Altura (cm planta ⁻¹)					
SFP	29,91Aa	29,03Ba	26,18Da	28,54Da	17,51Ea
SF	28,96Ab	27,03Bb	24,96Cb	24,64Cb	16,95Db
SP	23,01Ac	22,23Bc	20,29Dc	14,05Dc	9,35Ec
Solo puro	21,80Ad	21,58Ad	15,01Bd	11,80Cd	8,74Dd
CV (%)					2,05
Número de folha (nº folhas planta ⁻¹)					
SFP	11,25Aa	10,50Ba	9,50Ca	9,38Ca	7,38Da
SF	9,50Ab	9,50Ab	9,13Aa	8,63Ba	7,8Ca
SP	6,63Ac	5,63Bc	6,38Ab	6,38Ab	5,38Bb
Solo puro	5,25Ad	4,38Bd	4,75Bc	4,38Bc	4,63Bb
CV (%)					8,02
Comprimento da raiz (cm planta ⁻¹)					
SFP	26,15Aa	25,90Aa	24,00Ca	25,24Ba	17,25Da
SF	25,05Ab	24,98Ab	23,96Ba	23,95Bb	16,35Cb
SP	23,89Ac	19,90Cc	18,00Db	22,00Bc	13,10Ec
Solo puro	22,43Ad	15,18Dd	15,18Cc	20,06Cd	12,09Ed
CV (%)					2,0
Diâmetro (mm planta ⁻¹)					
SFP	0,38Aa	0,34Aa	0,36Aa	0,34Aa	0,29Ba
SF	0,33Aa	0,34Aa	0,33Aa	0,24Bb	0,28Ba
SP	0,24Ab	0,26Ab	0,16Bb	0,23Ab	0,18Bb
Solo puro	0,23Ab	0,19Bc	0,18Bb	0,14Bc	0,16Bb
CV (%)					19,83

Tabela 9. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims em função do substrato de cultivo e inoculação com bactérias diazotróficas, aos 90 dias após a semeadura

Substratos	(conclusão)				
	Fonte N	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)			
	UFLA 03-84	UFRB FA34C2-2	UFRB FA72A2-1	C/N	S/N
SFP	1,91Aa	1,60Ba	1,72Ba	1,82Aa	0,51Ca
SF	1,91Aa	1,33Bb	1,21Cb	1,41Bb	0,41Da
SP	0,79Ab	0,60Bc	0,50Bc	0,68Bc	0,19Cb
Solo puro	0,50Ac	0,43Ac	0,29Bd	0,40Ad	0,17Bb
CV (%)					16,67
Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)					
SFP	0,90Aa	0,90Aa	0,50Ba	0,90Aa	0,39Ca
SF	0,83Ab	0,73Cb	0,49Da	0,80Bb	0,35Eb
SP	0,69Ac	0,22Cc	0,24Cb	0,30Bc	0,19Dc
Solo puro	0,39Ad	0,12Cd	0,91Dc	0,20Bd	0,09Dd
CV (%)					3,4
Massa seca total (g planta ⁻¹)					
SFP	2,81Aa	2,50Ba	2,22Ca	2,72Aa	0,91Da
SF	2,74Aa	2,05Cb	1,69Db	2,21Bb	0,76Ea
SP	1,47Ab	0,82Cc	0,73Cc	0,98Bc	0,38Db
Solo puro	0,88Ac	0,55Bd	0,38Cd	0,59Bd	0,27Cb
CV (%)					10,93
Índice de Qualidade de Dickson					
SFP	0,34Aa	0,28Ba	0,29Ba	0,32Aa	0,15Ca
SF	0,29Ab	0,25Ba	0,21Cb	0,21Cb	0,12Da
SP	0,15Ac	0,10Bb	0,06Bc	0,15Ac	0,07Bb
Solo puro	0,09Ad	0,05Bc	0,04Bc	0,08Ad	0,05Bb
CV (%)					29,93
Acúmulo de N (mg planta ⁻¹)					
SFP	92,49Aa	85,40Aa	80,79Ba	76,84Ba	21,22Da
SF	84,07Ab	57,11Cb	52,32Cb	63,01Bb	15,19Da
SP	34,78Ac	26,03Bc	20,90Bc	28,95Ac	5,34Cb
Solo puro	20,00Ad	16,18Ad	9,25Bd	15,18Bd	4,36Bb
CV (%)					10,54
Acúmulo de P (mg planta ⁻¹)					
SFP	28,05Aa	19,84Ca	21,17Ca	23,44Ba	4,65Da
SF	23,80Ab	12,97Cb	11,10Cb	15,56Bb	3,33Dab
SP	7,91Ac	5,47Ac	4,16Bc	6,77Ac	1,41Cab
Solo puro	4,98Ac	4,26Ac	2,29Bc	3,99Ac	4,65Db
CV (%)					15,28
Acúmulo de K (mg planta ⁻¹)					
SFP	13,75Aa	9,92Ba	12,29Aa	12,88Aa	3,03Ca
SF	11,09Bb	7,72Bb	6,14Cb	8,62Bb	2,23Dab
SP	4,01Ac	2,99Bc	2,13Cc	4,01Ac	0,83Dbc
Solo puro	2,57Ad	2,32Ac	1,16Bc	2,15Ad	0,56Bc
CV (%)					13,07

SFP= Solo + fertilizante orgânico + pó de rocha; SF= solo + fertilizante orgânico; SP= solo + pó de rocha. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C/N: com N mineral; S/N: sem N mineral e sem inoculação.

As mudas cultivadas com os substratos contendo fertilizante orgânico em sua composição, apresentaram massas secas e Índice de Qualidade de Dickson

superiores ao substrato constituído de solo + pó de rocha, demonstrando que o uso somente do pó de rocha, não disponibiliza a quantidade de nutriente necessária para o crescimento das plantas ou tal resultado esteja relacionado a liberação lenta de nutrientes, mas ainda assim, esse tratamento foi superior ao substrato constituído de solo puro. Menores médias dessas variáveis foram observadas para as mudas submetidas ao controle sem inoculação e sem N mineral, em todos os substratos avaliados (Tabelas 7 e 9).

Os substratos constituídos de solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e solo + fertilizante orgânico e a inoculação favoreceram o estado nutricional das mudas de maracujá, principalmente quando associados a inoculação com a estirpe UFLA 03-84, nos dois experimentos avaliados, apresentando maiores acúmulos de N, P e K ($p < 0,05$) (Tabelas 7 e 9). No primeiro experimento, mudas cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e os isolados UFRB FA34C2-2, UFRB FA72A2-1 e o N mineral, resultaram em maiores acúmulo de K, em relação aos demais tratamentos. Enquanto que no segundo experimento, mudas cultivadas nesse substrato e inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e submetidas ao N mineral não diferiram entre si (Tabela 9).

Mudas inoculadas com os isolados UFRB FA34C2-2 e UFRB FA72A2-1 apresentaram acúmulo de nutrientes superiores ao tratamento sem inoculação e sem N mineral (Tabelas 7 e 9). Menores acúmulos de N, P e K foram observados em mudas cultivadas em solo puro, independente da inoculação com as bactérias avaliadas, em ambos os experimentos. No entanto, no experimento 1 os substratos constituídos de solo + pó de rocha e solo puro, não diferiram entre si no acúmulo de P, independente da inoculação (Tabelas 7 e 9). Em relação as fontes de N, menores médias dessas variáveis foram observadas no tratamento sem inoculação e sem N mineral, aos 60 e 90 DAS, seguida do isolado UFRB NA32B1, no experimento 1.

Mudas cultivadas com solo + pó de rocha, apresentaram maior efeito quando associado com fertilizante orgânico, enquanto que, mudas cultivadas com pó de rocha na ausência de fertilizante orgânico, apresentam resultados próximos ao tratamento constituídos apenas de solo, que apresentaram menores médias de crescimento e nutrição em todas as variáveis avaliadas (Tabelas 7 e 9). Menores médias entre as bactérias avaliadas foram observadas em mudas inoculadas com o isolado UFRB NA32B1, desse modo, não foi utilizada no experimento 2. Mudas

que receberam a aplicação do N mineral tiveram efeito inferior às plantas inoculadas com estirpe UFLA 03-84 na maioria das variáveis, em todos os substratos de cultivos avaliados, evidenciando a potencial dessa estirpe em solubilizar os nutrientes ao maracujazeiro.

4. DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram a capacidade dos isolados bacterianos produzirem auxinas, urease, catalase e amilase, em que a atividade enzimática varia entre as bactérias diazotróficas, sendo um aspecto importante para a exploração biotecnológica na promoção de crescimento das culturas (Tabela 1), através de atividades realizadas por estes hormônios no alongamento de células vegetais (BACKER et al., 2018).

Durante o crescimento das células bacterianas, o pH do meio se altera à medida que diferentes íons são absorvidos pelas células e os produtos metabólicos (ácidos orgânicos, enzimas e etc.) são excretados para o meio (ALVES et al., 2021). Os tratamentos com a adição de pó de rocha apresentaram maiores valores de pH, em relação aos tratamentos na ausência de pó de rocha (Tabelas 2 e 3), provavelmente devido à liberação de bases contidas nos minerais da rocha silicatada. A adição de pó de rocha aumentou a condutividade elétrica do meio de cultivo, devido aos minerais sólidos dissolvidos na solução aquosa.

Um dos mecanismos pelos quais as bactérias promotoras de crescimento vegetal solubilizam o nutriente presente nas rochas, é a liberação de prótons de hidrogênio ou liberação de ácidos orgânicos (ácido oxálico, ácido cítrico, ácido tartárico, ácido succínico e outros), ou seja, o pH fica ácido devido a estes processos (ETESAMI et al., 2017). Esses ácidos, ao acidificarem o meio, desestabilizaram os minerais presentes, e disponibilizam no meio de cultura (Tabelas 5 e 6).

A liberação de ácidos por bactérias foi evidenciada em estudo realizado por Setiawati; Mutmainnah (2016) no qual isolaram 41 rizobactérias da rizosfera de plantas de cana-de-açúcar, e foram selecionados 15 isolados capazes de solubilizar o K^+ em três fonte minerais insolúveis contendo o potássio (feldspato, leucita e traquito), em um período de 15 dias. Os resultados demonstraram que todos os isolados produziram ácidos orgânicos como o ácido ferúlico, cítrico e cumárico

e alguns isolados produziram ácido málico e síngico. Em estudo avaliando a solubilização do pó de rocha fonolítica por bactérias diazotróficas, a redução do pH foi relacionada a maior liberação do K (FLORENTINO et al., 2017). No presente estudo, a estirpe UFLA 03-84 conseguiu solubilizar o Si e o K em um meio alcalino, na presença e ausência de pó de rocha (Tabelas 5 e 6).

O pó de rocha também tem influência no aumento do Na⁺ no meio de cultura por contê-lo em sua composição (Tabela 5). Apesar disso, esse fertilizante fornece nutrientes às plantas sem afetar o seu crescimento morfológico (SETIAWATI; MUTMAINNAH, 2016; SANTOS et al., 2021). E quando associado com microrganismos podem possibilitar às plantas, maior tolerância ao sódio. Em condição de estresse salino a estirpe UFLA 03-84 isolada de solos da Amazônia em sistema de pastagem, apresentou tolerância a uma ampla faixa de pH (4 a 10), temperatura (15 a 37 °C) e NaCl (0,75%) (COSTA et al., 2019). O que evidencia a capacidade desta estirpe em se adaptar a diferentes condições de solo e clima no Brasil (MARINHO et al., 2017; COSTA et al., 2019).

Estudo *in vitro* com a estirpe UFLA 03-84 e 55 isolados de bactérias oriundas de área com histórico de deposição de manipueira, indicaram a capacidade média de solubilização das estirpes UFLA 03-84 e UFRB FA72A2-1, e a baixa capacidade de solubilização de fosfato de cálcio do isolado UFRB FA34C2-2. Além disso, essas bactérias cresceram em pH alcalino (7,9 a 10,2) e sob condições salinas. A bactéria UFRB FA34C2-2 cresce em meio de cultura contendo 10 g L⁻¹ de NaCl, já a estirpe UFLA 03-84 e UFRB FA72A2-1 em 30 g L⁻¹ de NaCl (SOUSA, 2017).

As bactérias diazotróficas apresentaram potencial quanto a sua capacidade *in vitro* de solubilizar o silício, principalmente a UFLA 03-84, seguida da UFRB FA34C2-2 (Tabela 5). A biosolubilização do silício é atribuída aos ácidos orgânicos produzidos pelas bactérias (LEE et al., 2019), que liberam esses ácidos e formam ligações que contribuem na dissolução do silicato através da formação de complexos de superfície de estrutura desestabilizadora e complexação de metal (ROGERS; BENNETT, 2004).

A estirpe UFLA 03-84 solubilizou o Si e o K⁺ *in vitro* com concentração de Na⁺, pH alcalino e com a condutividade elevada do meio de cultura (Tabelas 2, 3, 4 e 5). A tolerância a 30g de NaCl L⁻¹ desta estirpe também foi relatado por Nóbrega et al. (2004). A solubilização de minerais a partir da ação de microrganismos,

especialmente de rizobactérias, que tem potencial para liberação de nutrientes para as plantas (ADHIKARI et al., 2019; LEE et al., 2019; HE et al., 2019). A estirpe UFLA 03-84, apresenta potencial na solubilização de fosfato (SOUSA et al., 2022). Embora tenha sido evidenciado a influência da estirpe UFLA 03-84 na disponibilidade de Si e K⁺ no meio de cultura no presente estudo, são necessárias mais pesquisas para validar a eficiência das bactérias na disponibilidade de nutrientes em condições controladas, em diferentes intervalos de tempo, assim como, em condições de cultivo, formulações de substratos para cultivos de mudas utilizando pó de rocha e em outros microrganismos.

Com a colonização de raízes, é possível visualizar o crescimento bacteriano ao longo do sistema radicular, na qual formaram uma zona branca ao redor das raízes (SILVA et al., 2003), sendo confirmado com o isolamento das raízes. A capacidade de colonizar as raízes é uma condição para que uma bactéria seja considerada promotora de crescimento de planta (SILVA et al., 2003). Em condições *in vitro*, o sistema radicular do maracujazeiro inoculado apresentou maior desenvolvimento em relação ao não inoculado, o que demonstra que as bactérias são capazes de produzir fitormônios, responsáveis pelo estímulo no crescimento de plantas, tais como a presença de ácido idoal-acético e giberelinas (HAMID et al., 2021). O que resulta em vários efeitos na morfologia das raízes, como aumento no comprimento, no número e na superfície (de pelos radiculares) e aumento na absorção de nutrientes (HERMES et al., 2022), que podem estar relacionados com substâncias promotoras de crescimento vegetal secretadas pelas bactérias.

A colonização de bactérias diazotróficas nas raízes do maracujazeiro *in vivo* em conjunto com o substrato de cultivo refletiu no crescimento e qualidades das mudas em ambos os experimentos ($p < 0,05$). Principalmente quando inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e adubadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, proporcionando maior incremento das clorofilas, o que corresponde aos acúmulos de N, P e K na parte aérea, assim como, correspondeu no incremento nas variáveis morfológicas (Tabelas 7, 8 e 9). O que reflete na maior capacidade de transporte de fotoassimilados (ARAÚJO et al., 2020), na melhoria do estado nutricional e maior rendimento da cultura.

O aumento do comprimento da raiz e do diâmetro do caule a partir da inoculação com UFLA 03-84 e adubados com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha (Tabelas 7 e 9), pode proporcionar as mudas, maior sustentação e vigor em

condições de campo, uma vez que haverá maior equilíbrio com a parte aérea, tendo como consequência maior resistência aos danos físicos. As modificações na morfologia das raízes, deve-se ao fornecimento do P pelo substrato de cultivo, sendo que esse macronutriente promove o alongamento radicular e com o processo de solubilização pela bactéria, sua disponibilidade para absorção aumenta (SOUSA, 2017).

O tamanho da raiz e sua arquitetura tem uma influência na capacidade de adsorção de água e nutrientes da planta disponíveis no solo cultivado (BINOTTO et al., 2010), entanto o alongamento das células, que permite o crescimento das raízes em comprimento, pode ser influenciada pela ausência de nutrientes disponíveis para absorção, na qual a planta usa sua fonte de energia em busca de nutrientes no substrato de cultivo para suprir a demanda foliar, o que resulta em maior comprimento da raiz e menor crescimento da parte aérea. Tal comportamento, foi observado nos experimentos 1 e 2 para os substratos constituídos de solo + pó de rocha e apenas solos (Tabelas 7 e 9).

A inoculação com UFLA 03-84 em mudas cultivadas em substrato constituído de solo + fertilizante + pó de rocha, influenciou positivamente nas massas secas da parte aérea, raiz e total das mudas (Tabelas 7 e 9). Maior massa seca da parte aérea, correspondeu ao maior número de folha, índices de clorofilas e ao acúmulo de N na parte aérea, em relação a testemunha sem inoculação e cultivadas no substrato constituídos apenas com solo.

Os resultados indicam, portanto, que houve uma adequada alocação de massa seca para os diferentes órgãos da planta de maracujazeiro (Tabelas 7 e 9), tal fato pode ser atribuído ao potencial da utilização do pó de rocha em conjunto a inoculação terem incrementado os níveis de minerais disponíveis da matéria orgânica a partir do fertilizante orgânico e dos componentes minerais que constitui o pó de rocha, possibilitando maior assimilação de nutrientes pelas mudas, quando comparado ao substrato em que as plantas foram cultivadas apenas com solo + pó de rocha e solo puro.

A inoculação com bactérias diazotróficas desempenhou um papel positivo na melhoria da eficiência do uso de nutriente disponibilizado nos substratos de cultivo em maracujazeiro, principalmente quando constituídos com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha e o solo + fertilizante orgânico, favorecendo o estado nutricional das plantas, visto que parte desses nutrientes estão na forma

orgânica e é liberada gradativamente (ABREU et al., 2017), e os nutrientes contidos no pó de rocha, são liberados de forma lenta, devido à baixa solubilização, mas a associação com microrganismos solubilizadores, aceleram esse processo (SETHI et al., 2021). A influência dos microrganismos, principalmente das estirpes UFLA 03-84 nos acúmulos de N, P e K (Tabelas 7 e 9) ocorreu provavelmente pela fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes, produção enzimas extracelulares que atuam na formação da biomassa e demais processos biológicos não avaliados no presente estudo como, síntese de fitormônios como citocinina, giberilina, ácido abscísico e etileno e produção de exopolissacarídeos (HE et al., 2019; KHATOON et al., 2020).

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) pondera os resultados obtidos de várias características importantes empregadas na avaliação da qualidade das mudas, uma vez que considera-se, robustez e o equilíbrio da distribuição de massa, quanto maior for seu valor, melhor a qualidade das mudas a serem estabelecidas em campo. Maiores IQDs em plantas inoculadas com a estirpe UFLA 03-84 e cultivadas com solo + fertilizante orgânico + pó de rocha, pode ser atribuído ao papel da inoculação bacteriana no aumento da disponibilidade de nutrientes e secreção de hormônios de crescimento, bem como ao estímulo a absorção de água e nutrientes que reflete positivamente sobre o crescimento das plantas, incluindo ganho de massa seca (OMER et al., 2016). Assim, a inoculação bacteriana em conjunto com a fertilização com organomineal reduz a necessidade de adubação nitrogenada, devido papel da inoculação no aumento da prontidão de nutrientes, incluindo o nitrogênio (HANNON et al., 2020).

O cultivo da mudas em substrato constituído apenas de solo, resultou em menor absorção de nutrientes, limitando o crescimento, produção das massas secas e acúmulos de nutrientes e conseqüentemente menores médias de IQD, em relação às mudas que foram adubadas com fertilizante orgânico + pó de rocha. Demonstrando que a fertilização do substrato de cultivo é fundamental na produção de mudas, pois exerce papel importante na nutrição e na formação do sistema radicular, além de ser fonte de nutrientes para o crescimento microbiano (MA et al., 2020).

Ressalta-se, que houve influência do N mineral no crescimento e nutrição das mudas aos 60 e 90 DAS em relação ao tratamento sem N mineral e sem inoculação e ao isolado UFRB NA32B1 no experimento 1 e do isolado UFRB

FA72A2-1, em ambos os experimentos, evidenciando que a espécie se mostrou responsiva a adubação nitrogenada no crescimento e nutrição das mudas. Em estudo avaliando a produção de muda de maracujá amarelo com substrato e adubação nitrogenada, verificou-se, que a dose de 600 mg dm^{-3} de N mineral resultou em maior altura e massa seca total (MYYAKE et al., 2017). Mas a inoculação com a estirpe UFLA 03-84, seguida do isolado UFRB FA34C2-2, teve uma maior influência no crescimento das plantas, conseqüentemente devido a eficiência na Fixação Biológica de Nitrogênio no qual respondeu a demanda de N às mudas de maracujá.

De modo geral, a incorporação de solo + fertilizante orgânico + pó de rocha em conjunto inoculação com a estirpe UFLA 03-84, apresentou maior potencial no crescimento e nutrição do maracujazeiro aos 60 e 90 DAS, sendo este, recomendado para produção de mudas, tendo como finalidade, promover melhor nutrição e conseqüentemente melhor desenvolvimento das mudas em campo. E assim, efetivar o aproveitamento dessa biotecnologia na fertilização agrícola dos solos brasileiros, considerando que, a maior parte dos fertilizantes consumidos no Brasil são de origem estrangeira e apresentam alto custo de aquisição. A inoculação com bactérias diazotróficas combinadas com fosfato natural e o pó de rocha pode ser uma estratégia econômica e sustentável para melhorar o crescimento e garantir a nutrição de mudas de maracujazeiro, bem como reduzir seu custo de produção, podendo ser inclusive uma alternativa ao pequeno agricultor.

5. CONCLUSÕES

Os isolados UFRB FA72A2-1 – UFRB FA72A2-1, UFRB FA34C2-2–UFRB FA34C2-2 e UFRB NA32B1, produzem auxinas, urease e enzimas extracelulares como celulase, catalase, amilase, e protease, sendo os dois primeiros os mais expressivos, além de apresentaram potencial em solubilizar o pó de rocha.

As bactérias diazotróficas têm habilidade em colonizar o sistema radicular de plântulas de maracujazeiro *in vitro*.

Mudas cultivadas com substrato contendo solo + adubação orgânica + pó de rocha em conjunto com a inoculação da estirpe UFLA 03-84, apresentam maior potencial no crescimento, nutrição e Índice de Qualidade de DICKSON aos 60 e 90

DAS, sendo, portanto, recomendado para produção de mudas *Passiflora edulis* Sims.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; ALONSO, J.M.; ABEL, E.L.S.; OLIVEIRA, R.R. Characterization of sewage sludge generated in Rio de Janeiro, Brazil, and perspectives for agricultural recycling. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, Supl. 1, p. 2433-2448. 2017.

ADHIKARI, A.; LEE, KO-EUN; KHAN, M.; KANG, SANG-MO.; ADHIKARI, B; IMRAN, M.; JAN, R; KIM, K.; LEE, I.J. Effect of Silicate and Phosphate Solubilizing Rhizobacterium *Enterobacter ludwigii* GAK2 on *Oryza sativa* L. under Cadmium Stress. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, p.118-126, 2019.

ALVES, V.M.C.; GOMES, E.A; RESENDE, Á.V.; OLIVEIRA -PAIVA, C.A.; MARRIEL, I.E.; SOUSA, S.M.; LANA, U.G.P. Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeito no desenvolvimento de culturas agrícolas. 2021. **Documentos 264**, Embrapa, Milho e Sorgo, 2021, 20p.

ALVES, A.J.C.P. **Espécies de Botryosphaeria em Quercus spp. e outros hospedeiros lenhosos: taxonomia e filogenia** [Tese de doutoramento]. Universidade de Aveiro. Aveiro. Portugal, 2006.

ARAÚJO, J.B.; SILVA-MATOS, R.R.S.; AMORIM, D.J.; MORAIS, V.P.; ARAÚJO, G.B.; SANTOS, G.M.S.; CORDEIRO, K.V. Substrato a base de bagana de carnaúba na propagação vegetativa de *Ocimum basilicum*. **Research, Society and Development**, v.9, n.9, p.e761997879, 2020.

BACKER, R.; ROKEM, J.S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D.L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v.9, p.1-17, 2018.

BINOTTO, A.F.; LÚCIO, D.A.; LOPES, S.J. Correlations between growth variables and the DICKSON quality index in forest seedlings. **Cerne**, v.16, n.4, p.457- 464, 2010.

BORGES, A.L. ROSA, R.C.C. Calagem e adubação para o maracujazeiro. **Recomendações**, 2009.

BRAULIO, C.S.; NÓBREGA, R.S.A.; SILVA, L.C.V.; CORREIA, A.J. SOUSA, C.B.C.; PEREIRA, E.G. Inoculation of diazotrophic bacteria in chicory. **Revista Horticultura Brasileira**, v.38, n. 2, p.185-191, 2020.

BRAULIO, C.S.; SILVA, L.F.L.; SILVA, C.S.; CORREIA, A.J. ROCABADO, J.M.A.; NÓBREGA, R.S.A. Can inoculation with diazotrophic bacteria decrease the

productivity loss of defoliated *Vigna unguiculata* (L.) Walp? **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, n.3, p.189-196, 2021.

BRASIL. **Instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011**. Anexo – protocolo oficial para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica de cepas, inoculantes e tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2011.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid caulerimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CATTELAN, A.J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Londrina: **Embrapa Soja**, 1999. 36p.

CAVALCANTE, U.M.T.; MAIA, L.C.; NOGUEIRA, R.J. M.C.; SANTOS, V.F.D. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. **Acta botânica brasílica**, v.15, p.379-390, 2001.

COSTA, E.M.; CARVALHO, T.S.; GUIMARÃES, A.A.; LEÃO, A.C.R.; CRUZ, L.M.; BAURA, V.A.; LEBBE, L.; WILLEMS, A.; MOREIRA, F.M.S. Classification of the inoculant strain of cowpea UFLA03-84 and of other strains from soils of the Amazon region as *Bradyrhizobium viridifuturi* (symbiovar tropici). **Brazilian Journal of Microbiology**, v.50, p.335-345, 2019.

COSTA, F.M.; ANJOS, G.L.; CAMILO, G.B.M.; OLIVEIRA, U.C.; SOUZA, G.S.S.; SANTOS, A.R. Produção de mudas de maracujazeiro amarelo em diferentes composições de substrato e ambiente. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.1, p.138-146, 2018.

COSTA, E.M.; CARVALHO, F.; NÓBREGA, R.S.A.; SILVA, J.S.; MOREIRA, F.M.S. Bacterial strains from floodplain soils perform different plant growth promoting processes and enhance cowpea growth. **Scientia Agrícola**, v.73, n.4, p.301-310, 2016.

CHERKUPALLY, R.; AMBALLA, H.; BHOOMI, N.R. *In vitro* screening for enzymatic activity of *Trichoderma* species for biocontrol potential. **Annals of Plant Sciences**, v.6, n.11, p.1784, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627p.

ETESAMI, H.; EMAMI, S.; ALIKHANI, H.A. Potassium solubilizing bacteria (K⁺ SB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v.17, n.4, p.897-911, 2017.

FLORENTINO, L.A.; REZENDE, A.V.; MIRANDA, C.C.B.; MESQUITA, A.C.; MANTOVANI, J.R.; BIANCHINI, H.C. Potassium solubilization in phonolite rock by diazotrophic bacteria. **Comunicata Scientiae**, v.8, n.1, p.17-23, 2017.

HAMID, B.; ZAMAN, M.; FAROOQ, S.; FATIMA, S.; SAYYED, R.Z.; BABA, Z.A.; SHEIKH, T.A.; REDDY, M.S.; ENSHASY, H.E.; GAFUR, A.; SURIANI, N.L. Bacterial plant biostimulants: a sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. **Sustainability**, v.13, n.5, p.2856, 2021.

HANKIN, L.; ANAGNOSTAKIS, S.L. The use of solid media for detection of enzyme production by fungi. **Mycaulegia**, v.67, p.597-607, 1975.

HANOON, M.B.; HARAN, M.S.; SAHI, M.K. Effect of rhizobium inoculation and different levels of organic and nitrogen fertilizers on growth and production of broad bean (*Vicia faba* L.) and nitrogen readiness in soil. **International Journal of Agricultural and Statistical Sciences**, v.16, n.1, p.229-236, 2020.

HERMS, C.H.; HENNESSY, R.C.; BAK, F.; DRESBØLL, D.B.; NICOLAISEN, M. H. Back to our roots: exploring the role of root morphology as a mediator of beneficial plant–microbe interactions. **Environmental Microbiology**, v.24, n.8, p.3264-3272, 2022.

HE, Y.; PANTIGOSO, H.A.; WU, Z.; VIVANCO, J.M. Co-inoculation of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* putidaat different development stages acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of tomato. **Journal of Applied Microbiology**, v.127, n.1, p.196-207, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de maracujá**, 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

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, 2020.

KUMAR, S.; STECHER, G.; TAMURA, K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. **Molecular Biology and Evolution**, v.33, p.1870-1874, 2016.

LAMICHHANE, J.R.; VARVARO, L. A new medium for the detection of fluorescent pigment production by pseudomonas. **Plant Pathology**, v.62, n.3, p. 624-632, 2013.

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B.; SOARES, A.L.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. **Revista Ceres**, v.51, p.67-82, 2004.

LEE, KO-EUN; ADHIKARI, A.; KANG, SANG-MO; YOU, YOUNG-HYUN; JOO, GIL-JAE; KIM, JIN-HO; KIM, SANG-JUN; LEE, IN-JUNG. Isolation and Characterization

of the High Silicate and Phosphate Solubilizing Novel Strain *Enterobacter ludwigii* GAK2 that Promotes Growth in Rice Plants. **Agronomy**, v.9, p.144, 2019.

LEGER, R.J.S.T; JOSHI, L.E.; ROBERTS, D.W. Adaptation of proteases and carbohydrases of saprophytic, phytopathogenic and entomopathogenic fungi to the requirements of their ecaulegical niches. **Microbiology**, v.143, p.1983-1992, 1997.

LINHARES, G.A.N. **Fontes de silício em mamoeiro e maracujazeiro: crescimento, fisiologia e indução de resistência**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Dacy RIBEIRO. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Disponível: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7674979. Acesso em 24 jun. 2023.

MA, R.; ZHAO, W.; ZHAO, Y.; WANG, Z.; ZHU-BARKER, X.; WRIGHT, A.L.; JIANG, X. Land use pattern effects after 30 years of shifting cropland to fallow land on soil ammonia-oxidizer community. **Applied Soil Ecaulegy**, v.156, p.03707, 2020.

MARINHO, R.C.N.; FERREIRA L.V.M.; SILVA, A.F.; MARTINS, L.M.V.; NÓBREGA, R.S.A.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian Semi-Arid. **Bragantia**, v.76, n.2, p.273-281, 2017.

MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.; BORGES, A.L.; SILVA, L.D.; HADDAD, F. Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. **South African Journal of Botany**, v.137, p.249-256, 2021.

MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.R.; NASCIMENTO, L.R.; ROSA, R.C.C.C.; ROCHA, L.S.; HADDAD, F. Optimal growth and N use efficiency enhancements by growth promoting rhizobacteria in seedlings banana under N₂ deficiency. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.50, n.102734, 2023.

NÓBREGA, R.S.A.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; LIMA, A.S. Caracterização fenotípica e diversidade de bactérias diazotróficas associativas isoladas de solos em reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.269-279, 2004.

OKURA, M.H.; RENDE, J.C. **Microbiologia: roteiros de aulas práticas**. 1. ed. Tecmedd, 2008.

OMER, A.M.; EMARA, H.M.; ZAGHLOUL, R.A.; MONEM, M.O.; DAWWAM, G.E. Potential of *Azotobacter salinestr* as plant growth promoting rhizobacteria under saline stress conditions. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v.7, n.6, p.2572-2583, 2016.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

ROGERS, J.R.; BENNETT, P.C. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: Release of limiting nutrients from silicates. **Chemical Geology**, p.91-108, 2004.

ROCHA, C.W.; SILVA, M.A.; SARAIVA, T.S.; DAYRELL, D.M. Uso de diferentes substratos na produção de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Agro veterinária, Negócios e Tecnologias**, v.2, n.1, p.38-51, 2017.

SANTOS, L.F.; SODRÉ, F.F.; MARTINS, É.S.; FIGUEREDO, C.C.; BUSATO, J.G. Effects of biotite syenite on the nutrient levels and electrical charges in a *Brazilian Savanna* Ferralsol. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v.51, p.e66691-x, 2021.

SETIAWATI, T.C.; MUTMAINNAH, L. Solubilization of potassium containing mineral by microorganisms from sugarcane rhizosphere. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v.9, p.108-117, 2016.

SETHI, D.; SUBUDHI, S.; RAJPUT, V.D.; KUSUMAVATHI, K.; SAHOO, T.R.; DASH, S.; MANGARAJ, S.; NAYAK, D.K.; PATTANAYAK, S.K.; MINKINA, T.; GLINUSCHKIN, A.P.; KALINITCENKO, V. P. Exploring the Role of Mycorrhizal and Rhizobium Inoculation with Organic and Inorganic Fertilizers on the Nutrient Uptake and Growth of *Acacia mangium* Saplings in Acidic Soil. **Forests**, v.12, n.12, p.2-15, 2021.

SILVA, C.F.B.; BRITO, T.L.; TANIGUCHI, C.A.K.; LOPES, L.A.; PINTO, G.A.S.; CARVALHO, A.C.P.P. Growth-promoting potential of bacterial biomass in the banana micropropagated plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.11, p.782-787, 2018.

SILVA, J.V.; LONGUE, L.L.; JARDIM, A.S.; PINHEIRO, A.P.B.; ROSA, R.; PAGOTO, A.L.R.; AZEREDO, A.L.R.; DOUSSEAU, S.; FERNANDES, A.A. Eficiência nutricional na produção de mudas de maracujazeiro azedo em função das concentrações de fósforo em solução nutritiva. **Research, Society and Development**, v.10, n.4, p.1-14, 2021.

SILVA, H.S.A.; ROMEIRO, R.S.; MOUNTEER, A. Developmet of a root colanization bioassay for rapid screening of rhizobacteria for potential biocontrol agentes. **Journal of Phytopathology**, v.151, p.42-46, 2003.

SILVA, M.A; SANTOS, C.M.; VITORINO, H.S.; RHEIN, A.L.F. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p.173-181, 2014.

SILVA, C.S.; SANTOS, J.M.C.; SILVA, J.M.; TENÓRIO, F.A.; GUEDES-CELESTINO, E.L.F.; CRISTO, C.C.N.; NASCIMENTO, M.S.; MONTALDO, Y.C.; OLIVEIRA, J.U.L.; SANTOS, T.M. C. Bioprospecting of endophytic bacteria (*Bacillus* spp.) from passionfruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*) for plant growth promotion. **Austalian Journal of Crop Science**, v.13, n.8, p.1369-1374, 2019.

SOUSA, J.X. **Promoção do crescimento vegetal por bactérias diazotróficas no feijão-caupi**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 2017. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas). Disponível:

[https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/v
iewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6134874](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6134874). Acesso em 15 jun. 2023.

SOUSA, J.X.; CORREIA, A.J.; DIAS, A.J.C.; SILVA, C.C.; LEAL, P.L.; ROCABADO, J.M.A.; MORREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A. The *Bradyrhizobium uaiense* strain UFLA 03-164^T enhanced yield performance of cowpea in soils with low or high phosphorus content. **Bioscience Journal**, v.38, n.e38065, p.1981-3163, 2022.

SOUZA, M.D.B.; FONTANETTI, A.; LOPES-ASSAD, M.L.R.C. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v.5, n.1, p.1-7, 2017.

SHABANI, N.S.; RAMAIYA, S.D.; SAUPI, N.; BUJANG, J.S.; ZAKARIA, M.H. Effect of planting materials and organic amendments on the production of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) seedlings. **Pakistan Journal of Botany**, v.54, n.2, p.619-627, 2022.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TIAN, Z.; CHEN, C.; CHEN, K.; LIU, P.; FAN, Q.; ZHAO, J. Biocontrol and the mechanisms of *Bacillus* sp. w176 against postharvest green mold in citrus. **Postharvest Biology and Technology**, v.159, 2020.

R Core Team. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, G.L.; MATTEOLI, F.P.; GAZARA, R.K.; RODRIGUES, P.S.L.; SANTOS, S.T.; ALVES, A.F.; PEDROSA-SILVA, F.; OLIVEIRA -PINHEIRO.; CANEDO-ALVARENGA, D.; OLIVARES, F.L.; VENACIO, T.M. Characterization of cellular, biochemical and genomic features of the diazotrophic plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* sp. UENF-412522, a novel member of the *Azospirillum* genus. **Microbiological Research**, v.254, p.126896, 2022.

YASMIN, H.; NAZ, R.; NOSHEEN, A.; HASSAN, M.N.; ILYAS, N.; SAJJAD, M.; ANJUM, S.; GAO, X.; GENG, Z. Identification of new biocontrol agent against charcoal rot disease caused by *Macrophomina phaseolina* in Soybean (*Glycine max* L.). **Sustainability Switzerland**, v.12, n.17, 2020.

Capítulo 3

Mudas de maracujazeiro podem ser beneficiadas por microrganismos promotores de crescimento e silício quando infectadas por *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*?

Mudas de maracujazeiro podem ser beneficiadas por microrganismos promotores de crescimento e silício quando infectadas por *Fusarium Oxysporum* f. sp. *passiflorae*?

RESUMO: A cultura do maracujazeiro sofre sérios prejuízos ocasionados pela murcha da *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*), como a queda da produtividade, morte das plantas, redução da vida útil do pomar e conseqüentemente danos econômicos. No entanto ainda não há medidas de manejo eficientes para o controle da doença. O uso de agentes biocontroladores pode ser uma alternativa promissora no manejo da doença. Diante disso, objetivou-se avaliar a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e silício no biocontrole de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* em mudas de maracujá. Primeiro, o potencial antagonista das estirpes *Achromobacter spanius*, *Bacillus* sp., *Bacillus proteolyticus*, *Bradyrhizobium viridifuturi* e *Trichoderma asperellum* foi avaliado contra dois isolados do fitopatógeno, CMF3115 e CMF3116, *in vitro*. Posteriormente, o efeito da associação destas estirpes e complementação com silício foi avaliado *in vivo* de duas formas: experimento 1- ação corretiva ou experimento 2- ação preventiva. Aos 135 dias, após a inoculação dos tratamentos foram avaliados os sintomas externos e internos das mudas, severidade da doença, teores de pigmentos fotossintéticos, diâmetro, comprimento e volume de raízes, massa seca e acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das mudas. As estirpes *Bacillus* sp., seguido de *T. asperellum* e *B. virifuturi* (UFLA 03-84) se destacaram pela maior inibição do crescimento micelial do fitopatógeno, por meio do contato direto e produção de metabólitos voláteis e difusíveis. Esse efeito também foi observado nos experimentos *in vivo*, sendo potencializado pela associação com silício. Inoculação com *Bacillus* sp. (CNPMPF 1009). em conjunto com adubação silicatada protege a planta contra os danos causados pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* em fase de muda.

Palavras-chave: *Bacillus* sp., *Bradyrhizobium viridifuturi*, biocontrole, fusariose, *Passiflora edulis* Sims, rochagem.

Passion fruit seedlings can benefit from growth-promoting microorganisms and silicon when infected by *Fusarium Oxysporum* f. sp. *passiflorae*?

ABSTRACT: Passion fruit cultivation suffers serious damage caused by Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*), such as a drop in productivity, plant death, a reduction in the useful life of the orchard and consequent economic damage. However, there are still no efficient management measures for controlling the disease. The use of biocontrol agents could be a promising alternative for managing the disease. The aim of this study was to evaluate the association of plant growth promoting microorganisms (PGRM) and silicon in the biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in passion fruit seedlings. First, the antagonistic potential of the strains *Achromobacter spanius*, *Bacillus* sp., *Bacillus proteolyticus*, *Bradyrhizobium viridifuturi* and *Trichoderma asperellum* was evaluated against two isolates of the phytopathogen, CMF3115 and CMF3116, *in vitro*. Subsequently, the effect of combining these strains and supplementing with silicon was evaluated *in vivo* in two ways: experiment 1 - corrective action or experiment 2 - preventive action. At 135 days after inoculation, the external and internal symptoms of the seedlings, disease severity, photosynthetic pigment content, root diameter, length and volume, dry mass and accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in the aerial part of the seedlings were evaluated. The *Bacillus* sp. strains, followed by *T. asperellum* and *B. viridifuturi* (UFLA 03-84) stood out for their greater inhibition of the phytopathogen's mycelial growth, through direct contact and the production of volatile and diffusible metabolites. This effect was also observed in the *in vivo* experiments and was enhanced by the association with silicon. Inoculation with *Bacillus* sp. (CNPMF 1009) in conjunction with silicate fertilization protects the plant against damage caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in the seedling stage.

Key-words: *Bacillus* sp., *Bradyrhizobium viridifuturi*, biocontrol, boulder fusariosis, *Passiflora edulis* Sims.

1. INTRODUÇÃO

O maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims.) é cultivado em pequena e larga escala no Brasil, que é o maior produtor mundial com destaque para a região Nordeste com destaque para a produção do estado da Bahia, que corresponde a 30,3% da produção nacional (IBGE, 2022). Mas a cultura do maracujazeiro frequentemente vem sendo acometida pelo fungo saprófita, *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, causando a doença murcha de *Fusarium* e comprometendo a produtividade, ciclo da cultura e vida útil do pomar (LIMA et al., 2021; PIRES et al., 2022). A complexidade do sistema solo e a variabilidade genética do gênero *Fusarium* tornam a doença de difícil controle (ROCHA et al., 2017; PIRES et al., 2022; VIEIRA et al., 2022). A associação de várias técnicas é promissora no manejo de doenças em plantas através do uso de cultivares resistentes e aplicação de microrganismos antagonistas ao fitopatógeno (MELO et al., 2020; ESLAHI et al., 2022; WOO et al., 2023).

Os microrganismos apresentam ampla funcionalidade quando associado as raízes de plantas. *Trichoderma* spp. e o *Bacillus* spp., promovem o desenvolvimento radicular e crescimento de plantas, produzem enzimas quitinolíticas e glucanases capazes de degradar a parede celular dos fitopatógenos (SILVEIRA et al., 2017 ADIBI et al., 2017; ADIBI 2017; WOO et al., 2023) e além da solubilização de P, e contribuindo na disponibilidade de outros nutrientes para as plantas (MOREIRA et al., 2021). A estirpe *Bradyrhizobium viridifuturi* – UFLA 03-84B apresenta tolerância ao estresse salino (NÓBREGA et al., 2004) e assim como o *Bacillus proteolyticus* - UFRB FA72A2-1, atua no controle biológico de fitopatógenos (TRINH et al., 2023) e é capaz de solubilizar fosfato de cálcio (SOUSA et al, 2022). O isolado *Achromobacter spanius*- UFRB FA34C2-2 atua na atividade celulolítica e solubilização de potássio (SANTOS; RIGOBELLO, 2021).

A integração do pó de rocha silicatada à fertilização do solo pode ser uma medida promissora, uma vez que possibilita a redução de gastos com adubação pela disponibilização de nutrientes em Latossolo (SOLDAN et al., 2018), potencialização do efeito de defensivos químicos e agentes de biocontrole (WANG ET al., 2017, KHATOON et al., 2020), além de promover resistência das plantas a doenças (ANDRADE JUNIOR et al., 2015; GUERRIERO et al., 2016,

GUO-CHAO et al., 2018), contribuindo para o manejo fitossanitário das culturas e sustentabilidade agrícola.

Em adição, a inoculação com microrganismos solubilizadores, contribui para maior disponibilidade de nutrientes presentes no pó de rocha para absorção das plantas (NOVAIS et al., 2007; RODRIGUES et al., 2022) e influencia na redução da severidade da doença, pois a nutrição das plantas com fonte de silício desencadeia mecanismos de resistência, através das modificações na anatomia (células da epiderme mais lignificadas e ou silificadas) e nas propriedades fisiológicas e bioquímicas (produção de substâncias inibidoras) (WANGET al., 2017; LANNA et al., 2021). Desse modo, hipotetiza-se que, a associação de MPCP e fertilizante pó de rocha são efetivos no biocontrole da fusariose em mudas de maracujazeiro. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar a associação MPCP e silício no biocontrole de *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* em mudas de maracujá. Os objetivos específicos foram (1) investigar a atividade antagonista *in vitro* das estirpes contra isolados do fitopatógeno; (2) avaliar o efeito preventivo e curativo *in vivo* da associação MPCP e complementação com silício no biocontrole do fitopatógeno sob condições de estufa.

2. METODOLOGIA

2.1 Arranjo experimental

Os experimentos foram conduzidos de forma simultânea em estufa da Embrapa Mandioca e Fruticultura (12°40'39"S, 39°06'23", 226 m de altitude) em Cruz das Almas – BA, Brasil. Durante os experimentos, a temperatura da estufa variou entre 20 e 35 °C, com média de 25 °C.

Os experimentos *in vivo*, foram conduzidos de duas formas: experimento 1 [exp 1] ação corretiva da doença pelos MPCP – inoculação de MPCP dois dias após a infestação do substrato com *Fusarium*; experimento 2 [exp 2] ação preventiva - inoculação de MPCP dois dias antes da infestação com *Fusarium*. Os experimentos foram instalados em delineamentos experimentais foram inteiramente casualizados em esquema fatorial 7 x 2, com sete fontes de MPCP (*Achromobacter spanius*, *Bacillus* sp., *Bacillus proteolyticus*, *Bradyrhizobium viridifuturi*, *Trichoderma asperellum*; controle sem inoculação dos MPCP (Controle NI) e o controle absoluto sem MPCP e sem o patógeno e duas complementação com pó de rocha de Si:

ausência [Si⁻] e presença [Si⁺] com 5 repetições, totalizando em 70 parcelas, com uma planta por vaso.

O pó de rocha foi o fertilizante utilizado como fonte de silício. A dose de 0,52 g dm⁻³ do fertilizante foi adicionada por vaso⁻¹ ao solo, cinco dias após a infestação do *Fusarium* e inoculação com os MPCP, sendo calculada a partir do volume do recipiente e da dose de 9,52g dm³ de Si indicada por Linhares (2019), em plantas de maracujazeiro. A composição química do pó de rocha, segundo o fabricante está descrita em (%): SiO₂: 58,3; Al₂O₃: 13,3; Fe₂O₃: 7,15; CaO: 6,09; MgO: 4,36; TiO₂: 0,47; P₂O₅: 0,73; Na₂O: 1,36; K₂O: 5,44; MnO: 0,24; Ensaio de perda de fogo (LOI): 3,04. Cujas granulometria é de 0,3 mm.

Recipientes plásticos de 5 x 10 cm e capacidade de 300 cm³ foram preenchidos com a mistura de solo e fertilizante orgânico, em uma relação 2:1 (v/v). O solo utilizado foi Latossolo Amarelo distrófico distrocoeso Típico (LAdT) coletado na camada subsuperficial (> 40 cm). As caracterizações química e física da amostra de solo indicou: pH (H₂O): 5,0, pH KCl: 4,0, matéria orgânica (MO): 1,43 g kg⁻¹, P (Mehlich 1): 0,04 mg dm⁻³, K⁺: 39,01 mg dm⁻³, Ca²⁺: 0,7 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺: 0,6 cmol_c dm⁻³, (H+Al): 1,9 cmol_c dm⁻³, Na: 0,17 cmol_c kg⁻¹, SB: 1,31 cmol_c dm⁻³, CTC efetiva: 1,81 cmol_c dm⁻³, CTC potencial: 3,21 cmol_c dm⁻³, V: 40,81%; areia: 514 g kg⁻¹; silte: 104 g kg⁻¹; argila: 382 g kg⁻¹, argila dispersa em água: 94 g kg⁻¹; grau de floculação: 193 g kg⁻¹; condutividade elétrica: 0,13 dS m⁻¹.

O fertilizante orgânico foi formulado a partir da compostagem das podas de árvores, esterco bovino e caprino, misturados com relação 3:1:1. O lote utilizado para o presente estudo apresentou: pH (CaCl₂ 0,01 M): 7,60; pH (CaCl₂ 0,01 M): 7,6; MO total: 13,96%; N total: 0,60%; P₂O₅ total: 1,36%; K₂O total: 0,75%; Ca total: 0,98%; Mg total: 0,21%; S total: 0,07%; C/N: 9,0; Cu total: 2 mg kg⁻¹; Mn total: 200 mg kg⁻¹; Zn total: 85 mg kg⁻¹; Fe total: 10089 mg kg⁻¹; B total: 5 mg kg⁻¹; Na total: 1274 mg kg⁻¹.

2.2 Caracterização e preparo dos inóculos de MPCP

As estirpes *A. spanius* (UFRB FA34C2-2) e *B. proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) isoladas por Souza (2017) e sequenciadas por Braulio (2023) foram adquiridos no laboratório de Biologia do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), *T. asperellum* [CNPMF 1007] e *Bacillus* sp. [CNPMF

1009] foram adquiridos da Embrapa Mandioca e Fruticultura; *B. viridifuturi* [UFLA 03-84] é uma estirpe autorizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2011) para a cultura do feijão-caupi (LARCEDA et al., 2004; COSTA et al., 2019) oriunda do setor de Biologia, de Microbiologia e Processos Biológicos do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Essas estirpes foram selecionadas pelo potencial de promoção de crescimento vegetal em estudos já realizado (ADIBI et al., 2017; SOUSA, 2017; Guo et al., 2020; ESLAHI et al., 2022; MOREIRA et al., 2021; SOUSA et al., 2022) e habilidades antagônicas como produção enzimas, metabólitos antifúngicos, e antibióticos voláteis e não voláteis, que inibem o crescimento do patógeno (GAJERA et al., 2016; ADIBI et al., 2017).

As estirpes bacterianas foram reativadas em agar nutrientes e acondicionadas em incubadora a 28 °C, fotoperíodo de 12 horas durante 48 horas, e as estirpes fúngicas crescidas em batata dextrose ágar (BDA) a 25 °C, fotoperíodo de 12 horas durante sete dias.

Após reativação, os microrganismos foram avaliados quanto às habilidades em produzir enzimas hidrolíticas, solubilizar o pó de rocha e colonizar as raízes do maracujazeiro *in vitro* e promover o crescimento e nutrição de mudas de maracujá *in vivo* por Braulio (2023). As características bioquímicas e fisiológicas das estirpes estão disponíveis em Braulio (2023) – capítulo 2. Os inóculos bacterianos foram produzidos no meio de cultura líquido agar nutriente e incubados a 28°C em agitação a 110 rpm por 24 horas.

O inóculo de *T. asperellum* foi produzido via fermentação sólida em arroz parboilizado durante dez dias em incubadora BOD a 28° C ($\pm 1^\circ\text{C}$) e fotoperíodo de 12 horas, seguindo o método descrito por Steffen e Maldaner, (2019). Após a fermentação, uma suspensão fúngica foi preparada a partir da homogeneização de arroz parboilizado + *Trichoderma* e água destilada, em uma relação 1:10, e posterior, diluição seriada. A contagem de conídios aéreos foi em câmara de Neubauer em microscópio óptico, aumento 40x, e uma alíquota de 100 μl foi plaqueada em BDA, mantidas em BOD a 25 °C. Após 48 horas procedeu-se a quantificação de conídios aéreos viáveis por meio da contagem das Unidades Formadoras de Colônia (UFC) e ajuste da concentração do inóculo para 10^6 UFC g^{-1} de substrato.

2.3 Seleção e multiplicação de isolados de *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*

Os isolados CMF3115 e 3116 foram selecionados da coleção biológica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* no laboratório de Fitopatologia da Embrapa. Em estudos prévios, o isolado CMF 3115 foi relatado como o mais agressivo entre os isolados testados, sendo capaz de causar doença em 90% das plantas até 70 dias após a inoculação (DAI) (PIRES et al., 2022). Assim, ambos os isolados foram utilizados nos ensaios da atividade antagonista de MPCP, porém, apenas o isolado CMF3115 seguiu para estudos sob condições de casa-de-vegetação, pela característica de agressividade. O meio de cultura, composto de areia e fubá esterilizado e incubado a 25 °C por 10 dias, foi utilizado para produzir inóculos em massa de Fop, que foi quantificado por diluição seriada e contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) e ajustado para 10^6 UFC g⁻¹ de substrato.

2.4 Atividade antagonista *in vitro* dos MPCP sobre o *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*

O potencial dos MPCP foi avaliado das seguintes formas: confrontação direta, produção de metabólitos difusíveis e voláteis. Os ensaios foram conduzidos em placa de petri (90 x 15 mm) contendo meio BDA. Para a confrontação direta, fungo-fungo, discos (5 mm de diâmetro) do micélio foram dispostos em lados opostos e equidistantes, seguindo método descrito por Mariano (1930). Quando na confrontação utilizou-se bactéria, quatro discos de papel filtro autoclavados foram imersos em suspensão bacteriana [concentração: 10^8 UFC mL⁻¹], e posterior, disposição em posições equidistantes na placa contra o *T. asperellum* no centro da placa, ou, após 48 h da disposição do *Fusarium* no centro.

Quanto à eficiência dos metabólitos voláteis produzidos por MPCP, seguindo método descrito por Dennis e Webster (1971), foram posicionadas duas bases de placas sobrepostas uma à outra, contendo o fitopatógeno posicionado no centro da placa oposto ao MPCP. E para a eficiência dos metabólitos difusíveis, seguindo método descrito por Dennis e Webster (1971), os MPCP foram cultivados em meio BD (batata-dextrose), em erlenmeyers de 150 mL durante sete dias. Após esse período, o cultivo foi filtrado em filtro Millipore Millex® com 0,20 µm, homogeneizado em quatro discos de papel filtro esterilizados foram imersos no

filtrado e transferidos para as placas de Petri contendo meio de cultivo BDA, em posições equidistantes. O fitopatógeno estava localizado no centro da placa. O controle foi constituído por apenas fitopatógeno.

Em todos os ensaios, as placas foram mantidas em incubadora BOD a 25 °C, fotoperíodo de 12 horas durante 12 dias. Após o período de incubação, a mensuração do diâmetro de crescimento das colônias foi avaliada em sentidos perpendiculares, e então, obtém-se a porcentagem de inibição do crescimento micelial (%), segundo Menten et al. (1976), aplicada a fórmula:

$$\text{PICM (\%)} = [(\text{diâmetro}_{\text{cont}} - \text{diâmetro}_{\text{trat}}) / \text{diâmetro}_{\text{cont}}] \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

em que: diâmetro_{cont} = diâmetro obtido no controle; diâmetro_{trat} = diâmetro obtido no tratamento. O ensaio de confrontação direta foi realizado com 10 repetições para cada MPCP, e os ensaios de metabólitos voláteis e difusíveis, cinco repetições.

2.5 Produção de mudas e inoculação com MPCP e infestação com o *Fusarium*

Mudas de *Passiflora edulis* Sims, acesso BGP190 obtidas via sementes do Banco Germoplasma de Frutos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, foram transplantadas para os potes de plástico com três folhas totalmente expandidas, 28 dias após a semeadura. Aos sete dias após o transplante, no experimento 1 foi realizado primeiro a infestação do solo com o isolado de *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* [CMF 3115]. No experimento 2 houve, primeiro a inoculação com os MPCP e, posterior, infestação com o fitopatógeno.

A infestação do substrato de cultivo com o fitopatógeno foi realizada via suspensão, aplicando 50 ml na concentração de 10⁶ UFC ml⁻¹ no experimento 1. A mesma quantidade e concentração foi utilizada quando houve a inoculação do *T. asperellum* no experimento 2, de acordo com cada tratamento. Foram inoculados 20 ml dos isolados bacterianos na concentração 10⁸ UFC ml⁻¹ no substrato de cultivo. O caule e a raiz das mudas de maracujá foram levemente feridos, com auxílio de um bisturi para facilitar a penetração do patógeno.

Aos 50 dias após a inoculação, foi realizada a reinoculação do Fop, do *T. asperellum* e das bactérias de acordo com cada experimento, simultaneamente

para potencializar o efeito do Fop sob as plantas. A reinfestação do fitopatógeno e inoculação do *T. asperellum* foi realizada pela adição 3,5 g de fubá de milho na concentração de 10^6 UFC g^{-1} substrato, sendo uma fonte de inóculo que favorece o crescimento do patógeno (LIMA et al., 2019; PIRES et al., 2021). Os isolados bacterianos foram reinoculados por suspensão, como descrito anteriormente. Como as plantas antes da inoculação não apresentaram nenhum sintoma visível, novamente o caule das plantas de maracujazeiro foi levemente ferido, com auxílio de um bisturi para favorecer a ocorrência da doença. A metodologia de inoculação foi ajustada, pois não foi observado nenhum sintoma da planta após a inoculação via suspensão do patógeno, conforme utilizado por MELO et al. (2020) e discutido por Pires et al. (2021) e Lima et al. (2019).

Dois dias após a reinoculação dos fitopatógenos e dos MPCP, as mudas foram submetidas ao estresse hídrico para aumentar a suscetibilidade à murcha de *Fusarium*, através da interrupção da irrigação até que as folhas apresentassem sintomas de murcha. Ao ocorrer a murcha foliar em todas as plantas, a irrigação foi reativada (LIMA et al., 2019; PIRES et al., 2021). As mudas referentes aos tratamentos controles também foram submetidas a estresse hídrico.

2.6 Inoculação conjunta *in vivo* de MPCP e Si sobre *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*

Todas as variáveis foram analisadas aos 135 dias após a infestação do substrato com o Fop e posteriormente a inoculação com MPCP no experimento 1, e com a inoculação com as MPCP e posteriormente a infestação com o Fop experimento 2. Sintomas externos e internos da severidade da doença nas mudas; clorofilas *a*, *b*, total; comprimento, diâmetro e volume radicular foram mensurados. Os sintomas externos foram quantificados baseando-se em uma escala de notas 1 a 5, em que 1: ausência de sintomas, 2: amarelecimento inicial em folhas velhas, 3: amarelecimento em folhas velhas e descoloração inicial em folhas novas, 4: amarelecimento intenso em todas as folhas e 5: rachaduras nos caules e formação de calos. Para as análises nas raízes, comprimento, diâmetro e volume foi utilizado um scanner EPSON STD 4800 com o programa WinRHIZO.

Os sintomas internos avaliados a partir de corte transversalmente e longitudinalmente para a análise da descoloração vascular foi avaliado com base

na: (i) ausência e presença de necrose no caule; ii) incidência, contagem do número de plantas mortas e iii) severidade da doença, medindo-se o comprimento da lesão em cm, seguindo a metodologia descrita por Bueno et al. (2010), e através de uma escala (variando de 1 a 5), proposta por Dita et al. (2018) e adaptação para maracujazeiro, onde 1: ausência de sintomas, 2: escurecimento inicial dos tecidos, 3: escurecimento vascular, 4: caule com a maioria dos tecidos internos apresentando necrose e 5: caule totalmente necrótico.

A cultura do postulado de Koch foi realizada de acordo com Phillips e Hayman (1970) para comprovar a colonização do fitopatógeno e do *Trichoderma asperellum*.

A massa seca da parte aérea (MSPA), de raízes e total foram determinadas após a secagem em estufa de circulação de ar forçado (60 °C). A determinação dos macronutrientes foi realizada na MSPA. O N foi determinado por fotolorimetria pelo método do nitroprussiato de sódio, adaptado de Cataldo et al., (1975). O P foi determinado por fotolorimetria pelo método do amarelo de vanadato e o K por fotometria de chama conforme métodos compilados em Embrapa (2009). Os acúmulos de N, P e K na parte aérea foram calculados multiplicando-se a MSPA (g) * (g/kg⁻¹ de N, P e K, respectivamente).

2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de análise de variância. Para atividades antifúngicas entre os MPCP e isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* CMF3115 e CMF3116 *in vitro*, as médias dos MPCP foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e as médias da complementação do pó de rocha foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade. Os valores foram expressos em média ± erro. Os dados de severidade da doença foram transformados pela expressão $\sqrt{x + 0,5}$. As análises de variância foram realizadas utilizando o pacote ExpDes.pt e o Heatmap foi gerado utilizando o pacote ggplot2, ambos os pacotes pertencentes ao programa estatístico R (R Core Team, 2023).

As médias das variáveis dependentes obtidas foram utilizadas para análise discriminante de componentes principais com o auxílio do pacote FactoMiner (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008). Para a análise de agrupamento, foram retidos os

primeiros componentes que explicaram até 95% da variância total dos dados. O número de grupos de fatores foi determinado por meio do Critério de Informação Bayesiana (CIB).

3. RESULTADOS

3.1 Atividades antagonista *in vitro* de microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCP) sobre *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop)

Os resultados mostraram diferenças ($p < 0,01$) de atividades antifúngicas entre os MPCP e isolados de Fop. A estirpe de *Bacillus* sp. se destacou entre os MPCP devido à maior percentagem de inibição do crescimento micelial (PICM) de ambos os isolados do fitopatógeno, independente da atividade antagonista avaliada.

Tabela 1. Atividades antifúngicas entre os MPCP e isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* CMF3115 e CMF3116 *in vitro*

		Atividade		
		Confrontação direta	PICM (%) Metabólitos voláteis	Metabólitos difusíveis
Fop 3115	Controle	-	-	-
	<i>Acromobacter spanis</i>	-	28,0±5,70b	-
	<i>Bacillus</i> sp.	81,8±17,18a	36,3±5,70a	22,6±4,41a
	<i>Bacillus proteolyticus</i>	-	29,0±5,70b	-
	<i>Bradyrhizobium viridifuturi</i>	76,0±17,18b	34,6±5,70a	12,2±4,41b
	<i>Trichoderma asperellum</i>	72,5±17,18c	36,8±5,70a	21,1±4,41a
Fop 3116	Controle	-	-	-
	<i>Achromobacter spanius</i> ¹	-	30,8±7,84d	-
	<i>Bacillus</i> sp.	73,9± 14,07a	51,6±7,84a	24,7±4,59a
	<i>Bacillus proteolyticus</i> ²	31,3±14,07c	38,9±7,84c	14,3±4,59b
	<i>Bradyrhizobium viridifuturi</i> ³	59,1±14,07b	50,1±7,84a	23,2±4,59a
	<i>Trichoderma asperellum</i>	73,9±14,07a	44,5±7,84b	20,5±4,59a

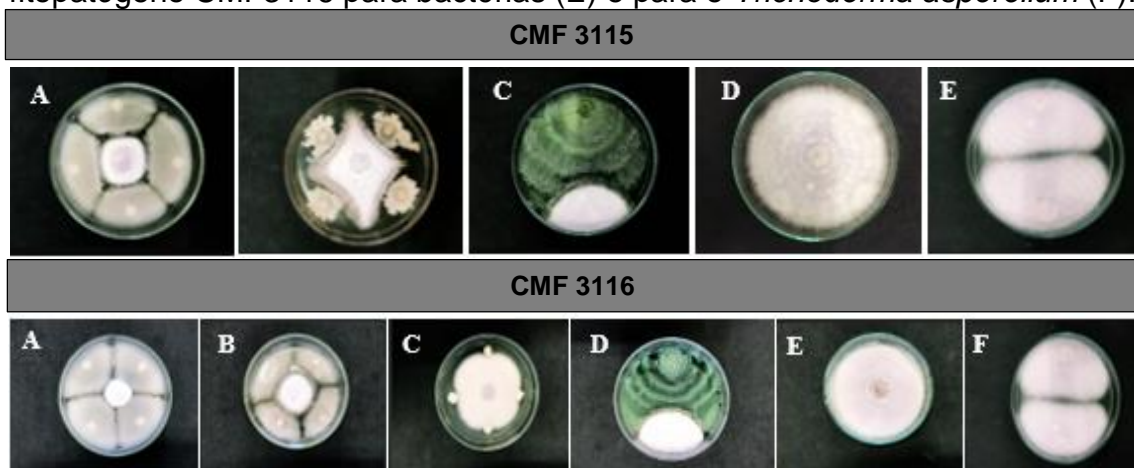
Código: ¹UFRB FA34C2-2, ² UFRB FA72A2-1; ³UFLA 03-84. Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem dentro de cada isolado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, pertence ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott, a 1% de probabilidade.

Outros MPCP que também inibiram o crescimento micelial de ambos fitopatógenos foram, na sequência: *T. asperellum* e *B. viridifuturi*. Os isolados *A. spanius* e *B. proteolyticus* não inibiram o crescimento micelial do Fop CMF3115, e primeiro isolado também não influenciou no crescimento do Fop CMF3116. O mesmo comportamento foi observado para os metabólitos difusíveis (Tabela 1, Figura 3).

No ensaio de confrontação direta, a estirpe *Bacillus* sp. promoveu maior PICM maximizando o diâmetro de crescimento na placa, comparado as demais

bactérias promotoras de crescimento. Por contraste, o *B. viridifuturi* também inibiu o crescimento micelial do fitopatógeno CMF3115, porém, verificou-se a formação de halo de inibição mais visível e alteração da coloração na borda do micélio (Figura 1).

Figura 1. Inibição do crescimento por *Bacillus* sp. (A); *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) (B); e *Trichoderma asperellum* (C) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115. Tratamentos controle com apenas o fitopatógeno CMF3115 para bactérias (D) e para o *Trichoderma asperellum* (E). Inibição do crescimento por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) (B), *Bacillus proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) (C) e *Trichoderma asperellum* (D) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3116, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamentos controle com apenas o fitopatógeno CMF3116 para bactérias (E) e para o *Trichoderma asperellum* (F).

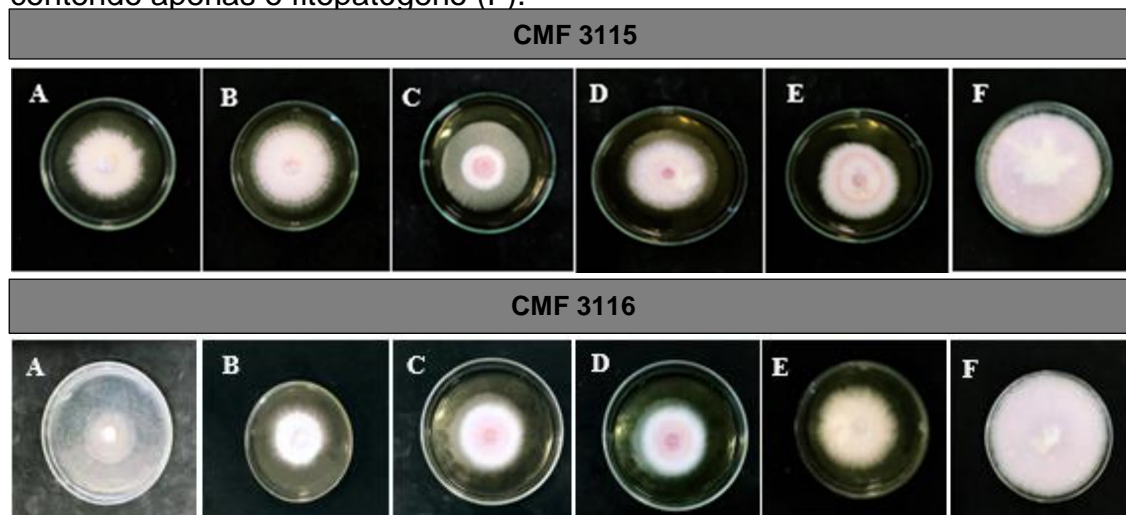


Autora: Caliane Braulio

Com relação a confrontação direta dos MPCP e o Fop CMF3116, tanto o *Bacillus* sp. quanto o *B. viridifuturi* apresentaram similar performance, maximização do diâmetro de crescimento na placa. *T. asperellum* inibiu o crescimento de ambos os isolados de Fop expandindo o crescimento micelial da colônia (Figura 1). Em placa de petri, observa-se que o *T. asperellum* estabeleceu contato físico com área de crescimento do Fop CMF3115 e 3116, respectivamente, com emissão de prolongamentos miceliais e esporulação sobre o patógeno (Figuras 1E e 2F).

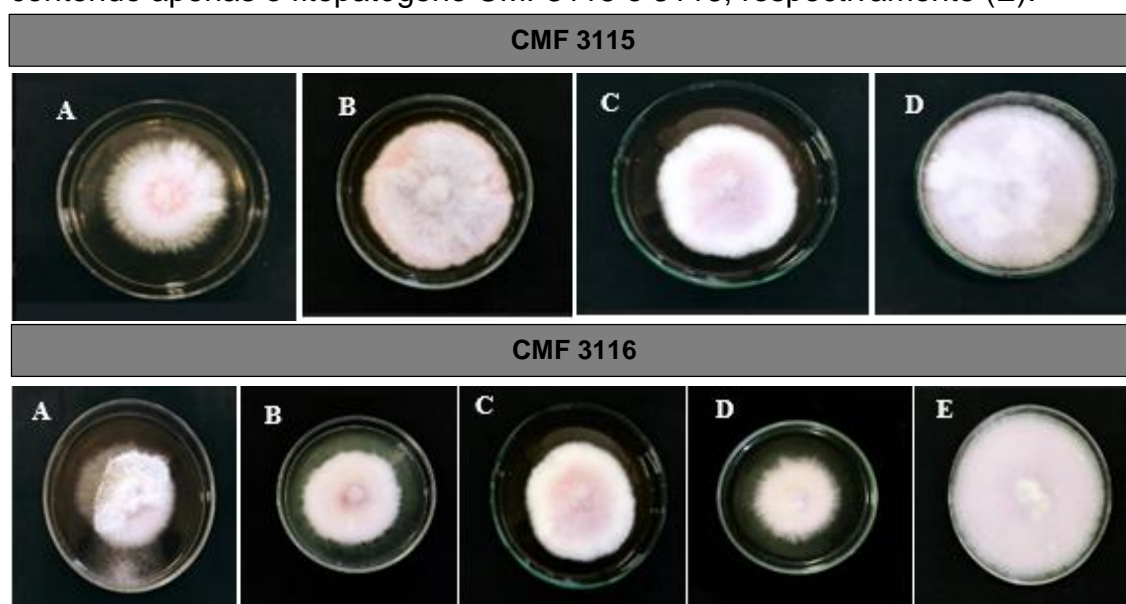
Além de reduzir o PICM, as estirpes *Bacillus* sp. e *B. viridifuturi* e a cepa de *T. asperellum*, também induziram alterações morfológicas na colônia do fitopatógeno, tornando o micélio menos denso e com variações de coloração, quando comparadas aos tratamentos controle, Fop CMF3115 e Fop CMF3116 (Figura 2).

Figura 2. Efeito de compostos voláteis produzidos por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) (B), *Achromobacter spanius* (UFRB F434C2-2) (C), *Bacillus proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) (D); *Trichoderma asperellum* (E) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115 e CMF3116, respectivamente, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamento controle contendo apenas o fitopatógeno (F).



Autora: Caliane Braulio

Figura 3. Efeito de compostos difusíveis produzidos por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) (B), *Trichoderma asperellum* (C) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3115; Controle sem inoculação, contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 (D). E por *Bacillus* sp. (A), *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) (B), *Bacillus proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) (C); *Trichoderma asperellum* (D) sobre o crescimento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae*, isolado CMF3116, sob confrontação direta em placa de Petri contendo meio batata dextrose ágar. Tratamento controle contendo apenas o fitopatógeno CMF3115 e 3116, respectivamente (E).



Autora: Caliane Braulio

Em testes de confrontação direta, *Bacillus* sp., *T. asperellum* e *B. viridifuturi* inibiram o crescimento micelial do Fop, não sendo recomendado a inoculação conjunta no controle de fitopatógenos (Figura 2).

Além da eficiência de cada MPCP em inibir o crescimento do fitopatógeno, verificou-se diferença entre a efetividade de cada atividade. No geral, nos ensaios de confrontação direta, a média da PICM é superior àqueles ensaios relacionados a produção de metabólitos, sejam voláteis ou difusíveis (Tabela 1, Figuras 2 e 3). Em contrapartida, todos os MPCP inibiram o crescimento micelial do fitopatógeno, independente do isolado, pela produção de metabólitos voláteis (Tabela 1).

3.2 Associação de MPCP e Si reduz a severidade de *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* em mudas de maracujazeiro

Todas as mudas apresentaram sintomas externos, como murcha, e internos, necrose em parte do tecido interno do caule, exceto aqueles referentes aos tratamentos controle absoluto, sem inoculação microbiana, em ambos os experimentos. As mudas referentes ao controle absoluto, apresentaram crescimento normal com raízes saudias, livres de regiões mortas e coloração interna do caule típica da doença causada por Fop. Não houve mortalidade das mudas (Figuras 4 e 5).

O início dos sintomas externos de murcha nas mudas ocorreu 70 DAI e foi caracterizado pelo amarelecimento das folhas mais velhas em diferentes escalas (2 a 4). Todos os MPCP reduziram os sintomas externos e internos das mudas, independentemente do tempo de inoculação, antes ou após a infestação do substrato com o fitopatógeno nos experimentos 1 e 2 (Figuras 4, 5 e 6).

Mudas inoculadas com *Bacillus* sp. foram classificadas com as menores notas externas e internas variando entre 2 a 3, a depender da suplementação com Si. 60% a 100% das mudas foram classificadas com nota 2 para os sintomas internos (Figura 4 e 6).

Todas as mudas inoculadas com *Bacillus* sp e [Si+] apresentaram escurecimento inicial dos tecidos internos, enquanto mudas infestadas com apenas com o fitopatógeno apresentaram necrose em grande parte dos tecidos aos 135 DAI (Figura 4 e 6). Além do *Bacillus* sp., mudas inoculadas com os demais MPCP, independente da suplementação com Si, também apresentaram sintomas externos

e internos menos severos quando comparado ao controle com fitopatógeno, sem inoculação.

Figura 4. Porcentagem de mudas de *Passiflora edulis* Sims infestadas com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) por tratamento de acordo com a escala de sintomas externos (A) e internos do caule (B) no experimento 1, e a escala de sintomas externos (C) e internos do caule (D) no experimento 2. Escala de sintomas externos em que 1: ausência de sintomas, 2: amarelecimento inicial em folhas velhas, 3: amarelecimento em folhas velhas e descoloração inicial em folhas novas, 4: amarelecimento intenso em todas as folhas e 5: rachaduras nos caules e formação de calos. Escala de sintomas internos – 1: ausência de sintomas, 2: escurecimento inicial dos tecidos, 3: escurecimento vascular, 4: caule com a maioria dos tecidos internos apresentando necrose e 5: caule totalmente necrótico. Si+: com pó de rocha e Si-: sem pó de rocha, aplicado 5 dias após a infestação do *Fusarium* e inoculação com MPCP.

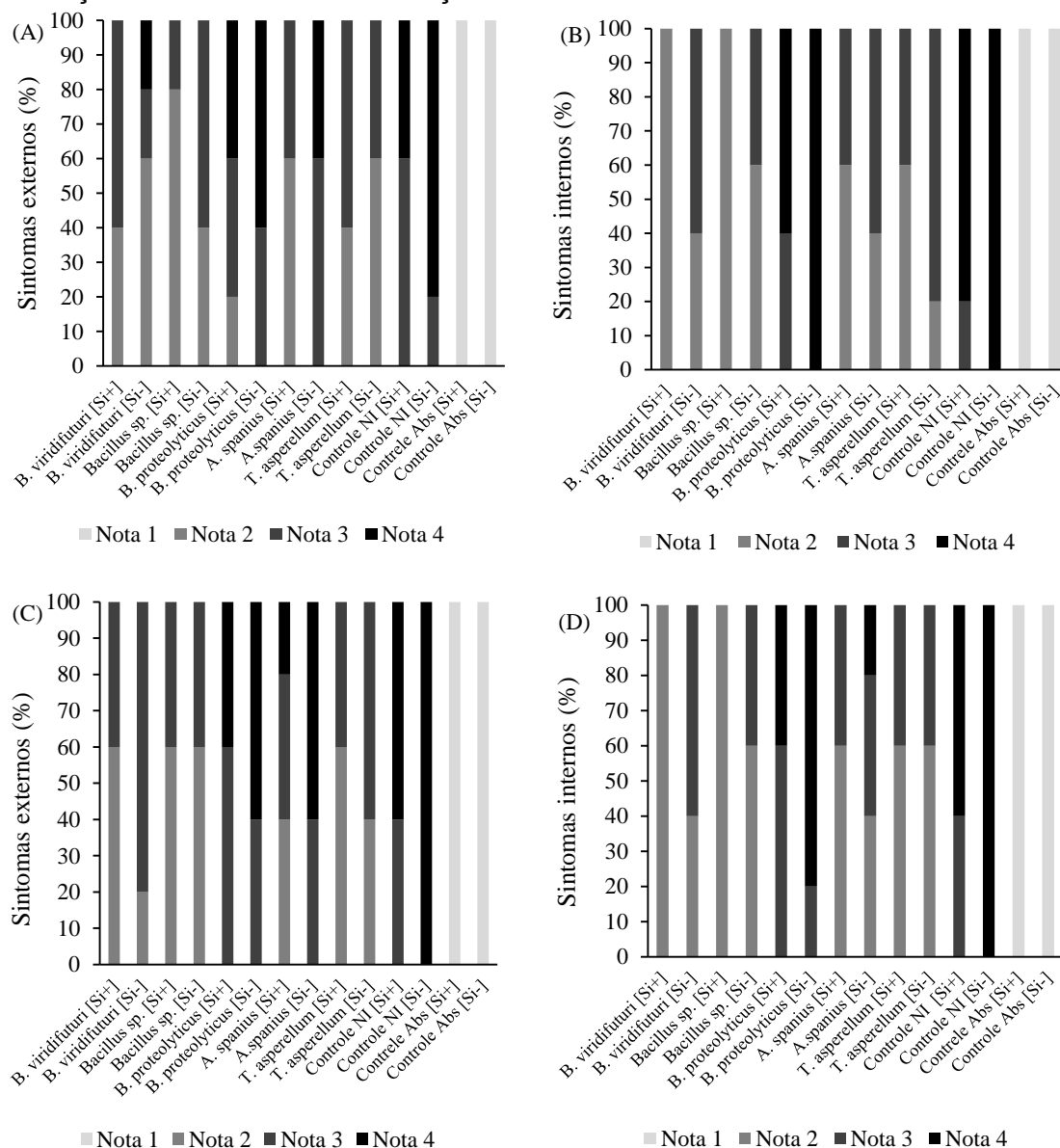
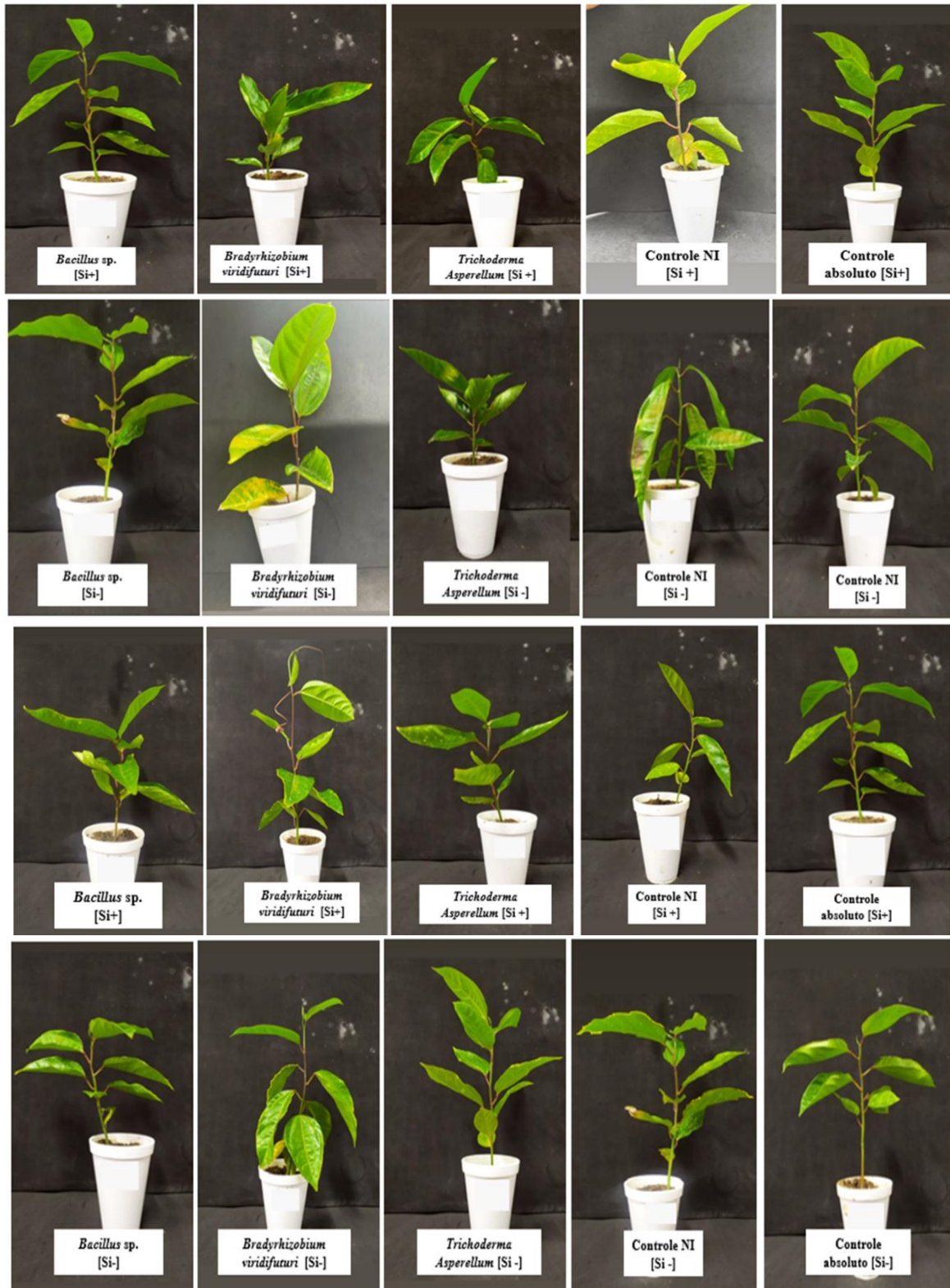


Figura 5. Sintomas externos de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) ocasionada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) inoculados com microrganismos promotores de crescimento de planta na ausência e presença de pó de rocha silicatada que apresentaram melhores resultados nos experimentos 1 [exp 1] e 2 [exp 2].



Autora: Caliane Braulio

Figura 6. Sintomas internos no caule e raiz de maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) ocasionada pelo *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) inoculados com microrganismos promotores de crescimento de planta na ausência e presença de pó de rocha silicatada que apresentaram melhores resultados nos experimentos 1 [exp 1] e 2 [exp 2].



Autora: Caliane Braulio

Em sequência ao *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum*. 20% a 100% das mudas classificadas com nota 2 e 3 no experimento 1 e 60% a 100% das mudas

classificadas com nota 2 para os sintomas internos no experimento 2. Apenas as mudas inoculadas com *A. spanius* ou *B. proteolyticus* foram classificadas com nota 4, de forma semelhante ao controle com fitopatógeno, em ambos os experimentos (Figura 4). No geral, as mudas inoculadas com MPCP e [Si+] tiveram alívio dos sintomas externos e internos da murcha, após a infestação do substrato com o Fop.

Para o controle absoluto com ausência do Fop e microrganismos com e sem pó de rocha, as mudas não apresentaram nenhum sintoma (Figura 4 C). Mesmo que, as mudas de maracujazeiro sejam suscetíveis ao Fop, a presença de microrganismos e [Si+], reduziu os sintomas causado por esse patógeno, em ambos os experimentos (Figuras 4 A e C).

Os resultados demonstram redução na severidade da doença em função da inoculação de MPCP e complementação com Si (Tabela 2). A interação entre estes fatores foi significativa ($p < 0,05$) para todos as variáveis. Os efeitos da inoculação de *Bacillus* sp. ou *B. viridifuturi* foram superiores aos demais MPCP, independente da complementação com Si. Mudas inoculadas com estes MPCP [Si-] apresentaram uma área de lesão, aproximadamente, 22,1% menor do que aqueles referentes ao controle sem inoculação. Os efeitos foram na redução da lesão foram potencializados quando houve a complementação com Si em, aproximadamente, 29,4 e 27,3%, respectivamente em [exp 1] (Figura 6). Para as demais estirpes, o tamanho da lesão necrótica não diferiu ($p > 0,05$).

Tabela 2. Severidade de *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* em *Passiflora edulis* Sims em função da inoculação com os microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e complementação silício: [Si+]: com silício; [Si-]: sem silício, 5 dias após a infestação.

[Exp 1]		MPCP					Severidade (lesão- cm ²) ¹	
Silício		A.	<i>Bacillus</i>	B.	B.	T.	Controle	Controle
		<i>spanius</i>	sp.	<i>proteolyticus</i>	<i>viridifuturi</i>	<i>asperellum</i>	NI	absoluto
[Si+]		2,34Bb	2,04Cb	2,39Bb	2,10Cb	2,34Ba	2,89Ab	0,00Da
[Si-]		2,64Ba	2,39Ca	2,64Ba	2,39Ca	2,39Ca	3,07Aa	0,00Da
Média		2,49	2,22	2,52	2,25	2,37	2,98	0,0
CV (%)								6,35
[Exp 2]		MPCP					Severidade (lesão- cm ²) ¹	
Silício		A.	<i>Bacillus</i>	B.	B.	T.	Controle	Controle
		<i>spanius</i>	sp.	<i>proteolyticus</i>	<i>viridifuturi</i>	<i>asperellum</i>	NI	absoluto
[Si+]		2,04Ca	1,66Db	2,34Bb	1,75Db	2,04Ca	2,60Aa	0,00Ea
[Si-]		2,04Ba	2,04Ba	2,60Aa	2,10Ba	2,10Ba	2,64Aa	0,00Da
Média		2,04	1,85	2,47	1,93	2,07	2,35	0,0
CV (%)								8,64

¹Médias transformadas em $\sqrt{x + 0,5}$. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

No experimento 2, mudas inoculadas com os MPCP, exceto *B. proteolyticus* [Si-] não diferiram entre si e apresentaram lesão necrótica menores do que aquela do tratamento controle sem inoculação, com redução em torno de 21% (Tabela 2, figura 6).

Quando houve a complementação com Si, *Bacillus* sp. e *B. viridifuturi* se destacaram resultando em uma lesão, 36,1 e 32,7%, menor que a do controle sem inoculação, respectivamente. Em adição, o fator complementação com Si influenciou positivamente na redução de 5,8% da lesão necrótica das mudas infestadas com o fitopatógeno (Tabela 2).

A interação entre os fatores MPCP e complementação com Si foi significativa ($p < 0,05$) para as variáveis clorofila *a* e *b*, diâmetro da raiz, massa seca raiz, massa seca total, acúmulo de N, P e K (Tabela 3). E efeito individual ($p < 0,05$) dos fatores para clorofila total, comprimento da raiz, volume da raiz e massa seca da parte área, no experimento 1 (Tabela 4).

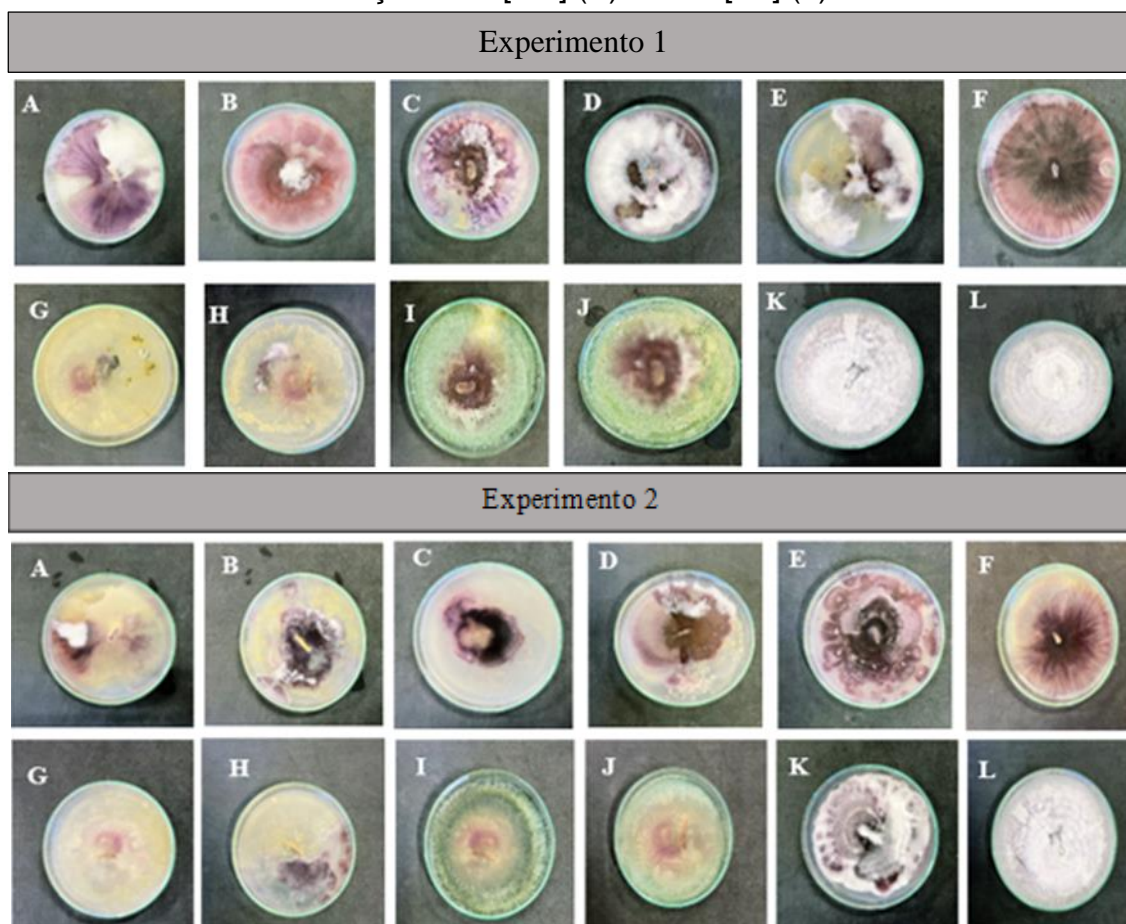
No experimento 1, mudas inoculadas apenas com a estirpe *Bacillus* sp. e a cepa de *T. asperellum* apresentaram maior teor de clorofila *a* e *b* comparado às demais estirpes, e 26%, aproximadamente, maior do que mudas referentes a ausência de silício. Ao aplicar uma fonte de silício ao substrato, as mudas do controle sem inoculação apresentam 16% mais pigmentos fotossintéticos do que as mudas [Si-]. O efeito benéfico do silício também foi verificado quando associado ao *Bacillus* sp. e a cepa de *T. asperellum* ou *B. viridifuturi*, não diferindo entre elas. Para as demais estirpes e, o efeito foi inferior (Tabela 3).

Mudas cultivadas sem fitopatógeno e sem MPCP não apresentaram lesões necróticas. Já na presença de Fop, as mudas são suscetíveis a doença e quando inoculadas com MPCP estes atuam no controle biológico do Fop, em ambos os experimentos (Tabela 2). Colonização endofítica dos MPCP: *A. spanius*, *Bacillus* sp., *B. proteolyticus*, *B. viridifuturi* e *T. asperellum*, independente do experimento e da complementação com silício, foram observadas através do isolamento *in vitro* (Figura 7).

Para o diâmetro da raiz, mudas inoculadas com *T. asperellum*, apresentaram maiores médias em relação aos demais tratamentos, independente da complementação com silício. Além disso, *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum* [Si-] não se diferiram ($p > 0,05$). Diâmetros inferiores foram observados

em mudas inoculadas com os demais MPCP. O Si não alterou o diâmetro de raízes de ambos controles (Tabela 3).

Figura 7. Isolamento do fragmento do caule *Passiflora edulis* com sintomas típicos do *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) do primeiro e segundo experimento, com *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) com [Si+] (A) e sem [Si-] (B); *Achromobacter spanius* (UFRB FA34C2-2) com [Si+] (C) e sem [Si-] (D); *Bacillus proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) com [Si+] (E) e sem [Si-] (F); *Bacillus* sp. com [Si+] (G) e sem [Si-] (H); *Trichoderma asperellum* com [Si=] (I) e sem [Si-] (J); e do controle sem inoculação com [Si+] (K) e sem [Si-] (L).



Autora: Caliane Braulio

As massas secas da raiz e total das mudas foram positivamente influenciadas pela complementação com Si, nos tratamentos controles e os com MPCP. A associação *B. viridifuturi* (45,9%), *A. spanius* (41,1%) ou *Bacillus* sp. (43,6%) com Si resultaram em maior massa seca da raiz; *A. spanius* (36,5%) ou *Bacillus* sp. (37,8) [Si+] maior massa seca total, do que controle [Si+] (Tabela 3).

Mudas inoculadas com *Bacillus* sp. e [Si+] continham maiores acúmulos dos macronutrientes N, P e K, e a inoculação com as demais estirpes tiveram

efeitos inferiores. Em geral, [Si+] influenciou nos acúmulos destes nutrientes na parte aérea das mudas, independente da inoculação com MPCP (Tabela 3). Mudas inoculadas com *Bacillus* sp. e *T. asperellum* apresentaram maior índice de clorofila total e massa seca da parte aérea, quando comparadas aos controles.

Tabela 3. Médias de variáveis de crescimentos de *Passiflora edulis* Sims submetidas a infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* posterior associação microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício [exp 1]

MPCP	<i>A. spanius</i>	<i>Bacillus</i> sp.	<i>B. proteolyticus</i>	<i>B. viridifuturi</i>	<i>T. asperellum</i>	Controle NI	Controle absoluto
Silício	Clorofila a						
[Si+]	36,78Ba	38,76Aa	33,04Ca	38,02Aa	38,32Aa	31,10Da	31,10Da
[Si-]	33,94Bb	35,47Ab	29,92Cb	34,28Bb	35,12Ab	26,12Eb	28,12Db
CV (%)	1,42						
	Clorofila b						
[Si+]	17,74Aa	18,28Aa	17,16Ba	18,12Aa	18,02Aa	9,98Da	13,31Ca
[Si-]	15,40Bb	16,04Ab	15,04Bb	16,00Ab	15,84Ab	9,14Db	11,08Cb
CV (%)	2,54						
	Diâmetro da raiz (mm planta ⁻¹)						
[Si+]	0,51Ca	0,55Ba	0,41Da	0,52Ca	0,69Aa	0,31Ea	0,41Da
[Si-]	0,43Bb	0,51Ab	0,40Ca	0,50Ab	0,50Ab	0,30Da	0,40Ca
CV (%)	3,13						
	Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)						
[Si+]	1,58Aa	1,65Aa	1,06Ca	1,72Aa	1,32Ba	0,93Da	0,93Da
[Si-]	1,02Bb	1,30Ab	0,73Cb	1,02Bb	1,04Bb	0,55Db	0,69Cb
CV (%)	9,1						
	Massa seca total (g planta ⁻¹)						
[Si+]	3,12Ba	3,49Aa	2,39Ca	3,42Aa	3,16Ba	2,17Ca	2,23Ca
[Si-]	2,37Bb	2,80Ab	1,84Cb	2,50Bb	2,54Bb	1,46Db	1,81Cb
CV (%)	6,39						
	Acúmulo de N (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	30,78Da	64,13Aa	23,61Ea	51,45Bc	49,36Ca	8,03Ga	13,09Fa
[Si-]	18,93Cb	27,37Ab	14,38Cb	25,59Bc	24,51Bb	5,50Fb	7,68Eb
CV (%)	4,48						
	Acúmulo de P (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	10,53Ba	20,18Aa	8,24Da	19,87Aa	18,56Ba	5,83Ea	5,41Ea
[Si-]	7,61Cb	11,03Ab	6,89Db	10,14Bb	10,08Ba	3,19Fb	4,45Ecb
CV (%)	4,1						
	Acúmulo de K (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	5,22Ca	9,12Aa	2,73Da	6,76Aa	6,44Ba	2,60Da	2,68Da
[Si-]	3,50Bb	5,38Ab	2,18Db	4,75Bb	4,81Aa	1,28Cb	2,03Cb
CV (%)	11,9						

[Si+]: complementação com silício; [Si-]: sem silício. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Além dessas estirpes, *B. viridifuturi* também estimulou o comprimento e o volume de raízes no experimento 1. A complementação com [Si+] influenciou positivamente a clorofila total, o comprimento e volume da raiz e a massa seca da parte aérea das mudas (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito isolado dos fatores microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) e silício sobre os teores de clorofila total, comprimento e volume da raiz, e massa seca da parte área de *Passiflora edulis* Sims submetidas a infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) [exp 1]

MPCP	Clorofila total	Comprimento da raiz (cm planta ⁻¹)	Volume da raiz (cm ³ planta ⁻¹)	Massa seca da parte área (g planta ⁻¹)
<i>A. spanius</i>	51,93c	20,65b	3,76b	1,45c
<i>Bacillus</i> sp.	54,28a	21,67a	4,56a	1,67a
<i>B. proteolyticus</i>	47,58	20,68b	3,52c	1,22d
<i>B. viridifuturi</i>	53,21b	21,65a	4,49a	1,59b
<i>T. asperellum</i>	53,28a	21,60a	4,54a	1,67a
Controle NI	38,17f	18,06d	2,47d	1,06e
Controle absoluto	42,37e	19,22c	2,62d	1,21d
CV (%)	1,37	2,41	4,79	5,28
Substratos	Clorofila total	Comprimento da raiz (cm planta ⁻¹)	Volume da raiz (cm ³ planta ⁻¹)	Massa seca da parte área (g planta ⁻¹)
[Si+]	51,55a	21,09a	4,15a	1,54a
[Si-]	45,93b	19,91b	3,27b	1,28b
CV (%)	1,37	2,41	4,79	5,28

Médias seguidas da mesma na letra na coluna pertence ao mesmo grupo pelo teste de Skott Knott a 5% e não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade para os substratos. [Si+]: complementação com silício; [Si]: sem silício.

No experimento 2, houve interação entre os fatores MPCP e complementação com Si para todas as variáveis avaliadas no maracuzajeiro, com exceção para clorofila total, que apresentou efeito individual ($p < 0,01$). A complementação com [Si+] resultou em maiores médias em todos os tratamentos e variáveis (Tabela 5).

Mudas inoculadas com *Bacillus* sp., independente da adubação com Si, apresentaram maiores índices de clorofila a e b em relação aos controles (Tabela 5). Assim como o *Bacillus* sp., a estirpe *B. viridifuturi*, e a cepa de *T. asperellum* influenciaram nos teores de clorofila b, tanto [Si+] quanto [Si-]. Este último, o *T. asperellum* estimulou a expansão e o crescimento em profundidade das raízes das mudas de maracujá, representado pelas maiores médias em diâmetro, comprimento e volume radicular. Esse efeito foi potencializado ao adicionar silício ao substrato. A associação das estirpes *A. spanius*, *Bacillus* sp. ou *B. viridifuturi* com [Si+] também estimularam comprimento e volume de raízes (Tabela 5).

A associação de [Si+] com inoculação das estirpes *B. viridifuturi*, *Bacillus* sp. ou a estirpe de *T. asperellum* estimularam maiores produções de massa seca da parte área; *A. spanius*, *Bacillus* sp. ou *B. viridifuturi* para massa seca da raiz; e *Bacillus* sp. ou *B. viridifuturi* para a massa seca total, quando comparadas aos controles, não diferindo entre si (Tabela 5).

Tabela 5. Médias das variáveis de crescimento de *Passiflora edulis* Sims submetidas a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício previamente infestado com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* [exp 2]

MPCP	A. <i>spanius</i>	<i>Bacillus</i> sp.	B. <i>proteolyticus</i>	B. <i>viridifuturi</i>	T. <i>asperellum</i>	Controle NI	Controle absoluto
Silício	Clorofila a						
[Si+]	39,86Ca	41,80Aa	36,10Da	41,10Ba	41,24Ba	33,96Fa	35,26Ea
[Si-]	37,02Bb	38,30Ab	33,00Cb	37,20Bb	38,14Ab	29,18Eb	31,12Db
CV (%)	1,24						
	Clorofila b						
[Si+]	20,88Aa	21,26Aa	20,43Ba	20,96Aa	21,08Aa	13,10Da	16,28Ca
[Si-]	18,40Bb	19,00Ab	18,04Bb	19,02Ab	19,96Ab	12,22Db	14,04Cb
CV (%)	2,26						
	Diâmetro da raiz (mm planta ⁻¹)						
[Si+]	0,52Ca	0,56Ba	0,51Ca	0,56Ba	0,60Aa	0,32Ea	0,41Da
[Si-]	0,50Ab	0,51Ab	0,41Cb	0,50Ab	0,51Ab	0,30Cb	0,30Cb
CV (%)	2,08						
	Comprimento da raiz (cm planta ⁻¹)						
[Si+]	25,84Aa	26,26Aa	23,54Ca	25,96Aa	26,30Aa	19,92Da	21,10Ca
[Si-]	24,14Ab	24,16Ab	20,88Bb	24,64Ab	20,06Cb	17,10Eb	18,58Db
CV (%)	2,51						
	Volume da raiz (cm ³ planta ⁻¹)						
[Si+]	4,17Ca	6,10Aa	4,22Ba	6,04Aa	6,00Aa	3,03Ca	3,09Ca
[Si-]	4,02Bb	4,99Ab	3,09Cb	4,97Ab	4,97Ab	2,74Eb	2,91Db
CV (%)	2,64						
	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)						
[Si+]	1,84Ba	1,97Aa	1,62Ca	2,00Aa	2,01Aa	1,53Da	1,61Ca
[Si-]	1,66Cb	1,80Bb	1,41Db	1,79Bb	1,88Ab	1,03Eb	1,42Db
CV (%)	2,01						
	Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)						
[Si+]	1,58Aa	1,65Aa	1,07Ca	1,72Aa	1,32Ba	0,84Da	0,93Da
[Si-]	1,02Bb	1,30Ab	0,73Cb	1,02Bb	1,04Bb	0,55Db	0,69Cb
CV (%)	9,16						
	Massa seca total (g planta ⁻¹)						
[Si-]	3,42Ba	3,62Aa	2,69Ca	3,72Aa	3,34Ba	2,37Da	2,54Ca
[Si+]	2,67Cb	3,10Ab	2,14Db	2,80Cb	2,92Bb	1,58Eb	2,11Db
CV (%)	4,59						
	Acúmulo de N (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	57,15Ca	74,00Aa	46,25Da	69,48Ba	69,14Ba	26,57Ea	44,85Da
[Si-]	36,19Cb	48,99Ab	29,11Eb	47,79Bb	45,73Bb	10,75Eb	28,51Eb
CV (%)	2,6						
	Acúmulo de P (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	10,53Ca	20,18Aa	8,24Da	19,87Aa	18,56Ba	5,83Ea	5,41Ea
[Si-]	6,89Db	11,03Ab	6,89Da	10,14Bb	10,08Bb	3,19Fb	4,45Ea
CV (%)	4,08						
	Acúmulo de K (mg planta ⁻¹)						
[Si+]	6,26Ca	8,16Ba	4,98Da	8,84Aa	7,74Ba	4,34Ea	5,03Da
[Si-]	4,16db	6,06bb	4,16da	6,23Bb	6,72Ab	3,03Eb	4,16Da
CV (%)	4,93						

[Si+]: complementação com silício; [Si-]: sem silício. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Os maiores acúmulos dos macronutrientes foram influenciados por MPCP e por silício. Mudanças inoculadas com *Bacillus* sp. e [Si+] continham maiores

acúmulos de N e P. De forma semelhante, inoculação de *A. spanius* e [Si+] produziram mudas com maiores acúmulos de P e K na parte aérea (Tabela 5).

Tabela 6. Clorofila total de *Passiflora edulis* Sims submetidas a associação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP) com silício previamente à infestação com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* [exp 2]

MPCP	Clorofila total
<i>Acromobacter spanius</i>	59,33b
<i>Bacillus</i> sp.	60,18a
<i>Bacillus proteolyticus</i>	52,38d
<i>Bradyrhizobium viridifuturi</i>	59,14b
<i>Trichoderma asperellum</i>	58,46c
Controle NI	44,23f
Controle absoluto	49,71e
CV (%)	1,17
Silício	Clorofila total
[Si+]	57,60a
[Si-]	51,95b
CV (%)	1,17

Médias seguidas da mesma na letra na coluna pertence ao mesmo grupo pelo teste de Skott Knott a 5% e não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade para os substratos. [Si+]: complementação com silício; [Si-]: sem silício.

Mudas inoculadas com *Bacillus* sp. apresentaram maior média de clorofila total em relação aos demais tratamentos, seguido dos tratamentos *B. viridifuturi* e *A. spanius* (Tabela 6).

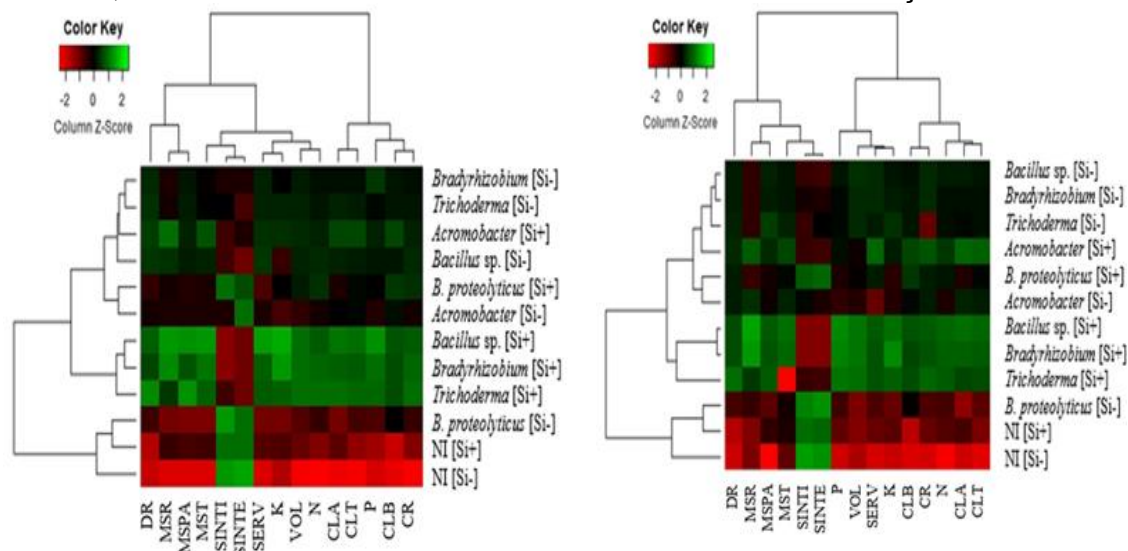
O fator complementação com Si também alterou de forma benéfica o índice de clorofila total das mudas. Um aumento de 9,8% foi observado em mudas [Si+], em relação aquelas [Si-] (Tabela 6).

3.3 Heatmaps e Análise de Componentes Principais (PCA)

A partir da análise do Heatmap e da Análise de Componentes Principais (ACP) foi possível identificar os melhores tratamentos, sendo o *Bacillus* sp., *T. asperellum* e *B. viridifuturi* com [Si+], para ambos os experimentos realizados (Figuras 8 e 9).

A ACP apresentou autovalores de 17,57 no primeiro eixo e 74,46 no segundo eixo, e os dois componentes explicam aproximadamente 92,03% da variação total, no primeiro ensaio (Figura 9A e B). No segundo ensaio a ACP apresentou autovalores de 17,42 no primeiro eixo e 69,27 no segundo eixo, e os dois componentes explicam aproximadamente 86,69% da variação total, no primeiro ensaio (Figura 9 C e D).

Figura 8. Heatmap das variáveis de *Passiflora edulis* Sims infestadas com *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop) sob efeito da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de planta e a complementação com Si, no primeiro [exp 1] (A) e segundo [exp 2] (B) experimentos. CLA: clorofila a, CLB: clorofila b, CLT: clorofila total, MSPA: massa seca da parte aérea, MSR: massa seca da raiz, MST: massa seca total, VOL: volume da raiz, DR: diâmetro da raiz, CR: comprimento da raiz, acúmulos de N, P e K, SINTE: Sintomas externos, SINTI: sintomas internos e SERV: severidade da doença.

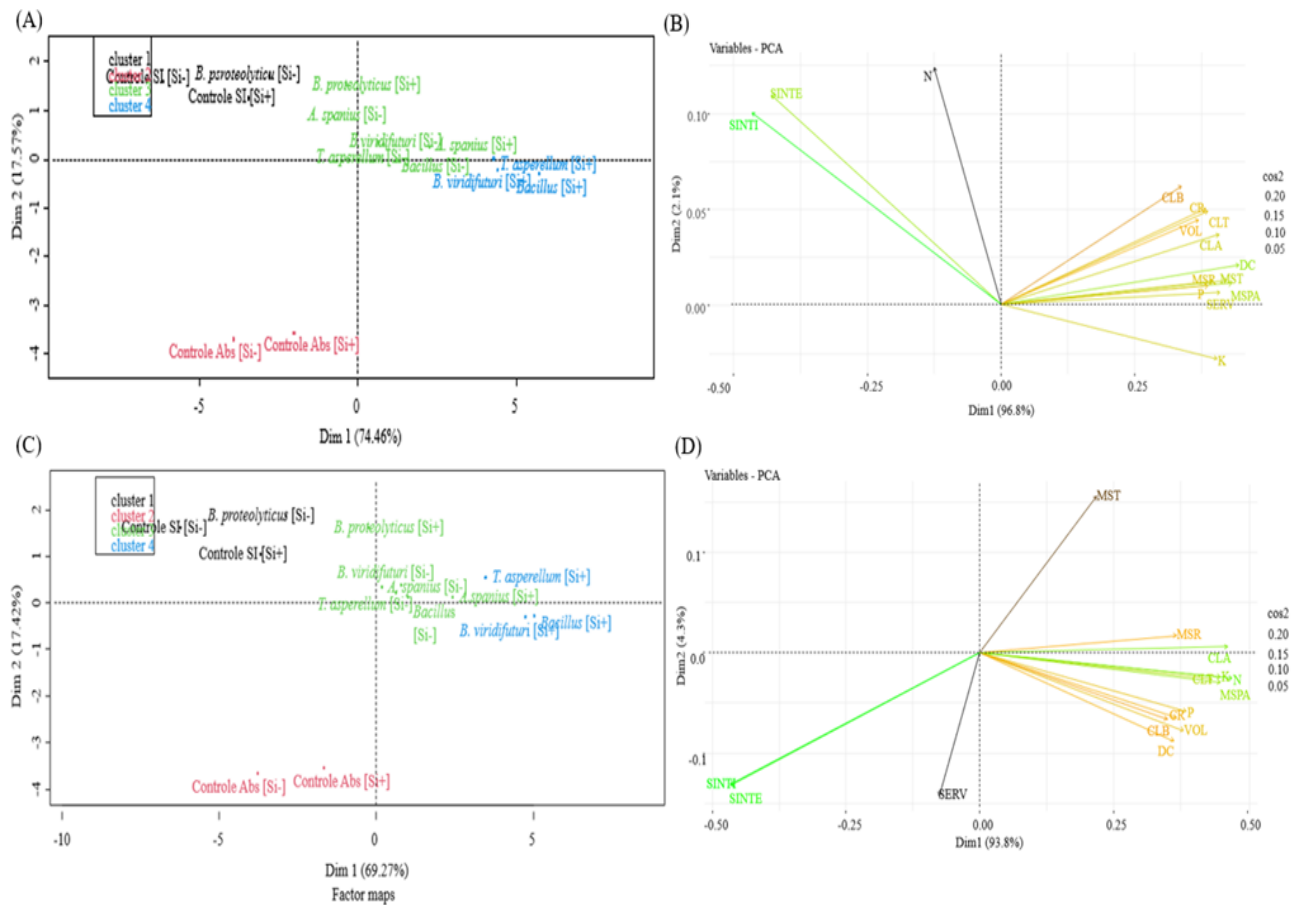


Os sintomas internos e externos não se correlacionaram com os parâmetros biométricos, em ambos os experimentos. Mas a severidade da doença interferiu na MSPA e acúmulo de P, mostrando o efeito do patógeno na fase final de muda (Figuras 9 A e B). Os tratamentos que se agruparam no centro do gráfico apresentaram baixa correlação com as variáveis de maior relevância (Figura 9 A e B e Figura 9 C e D).

Os tratamentos *Bacillus* sp. [Si+], *T. asperellum* [Si+] e *B. viridifuturi* [Si+], apresentaram maiores correlação com as variáveis avaliadas e os controles absolutos apresentaram relação negativa com a severidade da doença, em ambos os experimentos (Figura 9).

No primeiro experimento a sintomatologia não se correlacionaram com nenhuma variável, sendo que os tratamentos *B. proteolyticus* [Si-] e o controle SI [Si+] e controle SI [Si-] apresentaram correlação negativa, indicando que maiores sintomas da doença, ocorre quando as plantas são submetidas a esses tratamentos. Enquanto que, no segundo experimento que os MPCP foram estabelecidos primeiro que o *Fusarium*, o comportamento muda, em que plantas submetidas ao controle absoluto com e sem silício, não apresentaram sintomas.

Figura 9. Mapa de fatores dos grupos de tratamentos formados com base nas variáveis avaliadas em mudas de maracujazeiro e os gráficos com as setas representando as contribuições de cada variável na análise de PCA no experimento 1 (A e B) e experimento 2 (C e D).



4. DISCUSSÃO

Bacillus sp. promoveu maior porcentagem de inibição do crescimento micelial *in vitro* dos isolados do *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* (Fop), CMF3115 e 3116 (Tabela 1 e Figura 1). A formação de halos de inibição pelas colônias bacterianas na placa de petri caracterizam a presença de secreção e acúmulo de metabólitos extracelulares com propriedades fungistáticas (CAWOY et al., 2015).

Algumas espécies de *Bacillus* são antagonistas de fungos, por produzirem enzimas, metabólitos antifúngicos, como endoquitinases, lipopeptídeos, iturina A e fengicina e ácidos, que inibem o crescimento de fitopatógenos (CHANG et al., 2003; SHIFA et al., 2015; ADIBI et al., 2017). Esses metabólitos são verificados em maior quantidade quando estirpes bacterianas são expostas à presença de fitopatógenos, em testes *in vitro* de cultura dupla (COSSUS et al., 2021). Em ensaios *in vitro* de

antagonismo direto, a expressão de genes que codificam a biossíntese e secreção de compostos bioativos é estimulada e modulada consideravelmente em resposta à sinalização promovida por metabólitos secundários secretados por agentes patogênicos presente no meio de cultura (GABARDO et al., 2020; SRIDHARAN et al., 2021). A estirpe de *Bacillus* sp. produz compostos orgânicos voláteis como aldeídos, ácidos graxos, alcanos, ésteres e enxofre (SHIFA et al., 2015), assim como, espécies de *Trichoderma* que produzem substâncias e antibióticos voláteis e não voláteis, desorganizando as células através da lise das hifas (GAJERA et al., 2016; CHERKUPALLY; AMBALLA; BHOOMI, 2017), inibindo o crescimento micelial de patógenos fúngicos.

Além do *Bacillus* sp., o *B. viridifuturi* atuar na promoção de crescimento vegetal através das habilidades em fixar nitrogênio, solubilizar fosfato e tolerar altas concentrações de NaCl (NÓBREGA et al., 2004) e se adaptar a diferentes condições de solo e clima (COSTA et al., 2019; SOUSA et al., 2022). No presente estudo, observou-se o potencial antagônico das bactérias e do *T. asperellum* contra o Fop *in vitro* e *in vivo* de forma preventiva e curativa através da produção de metabólitos voláteis e difusíveis (Tabelas 1 e 2, Figura 4).

As espécies *A. spanius*, *B. proteolyticus* e são capazes de produzir, além de outras substâncias, enzimas hidrolíticas, como auxina, celulose, catalase, amilase e protease (BRAULIO, 2023). O *Bacillus* sp. e *Trichoderma* sp. também produzem essas enzimas, além pectinase, lipase, pepsina, quimotripsina, quitinase e glucanases, que são capazes de degradar a parede celular dos fitopatógenos (BAUERMEISTER et al., 2010; SILVEIRA et al., 2017; ADIBI et al., 2017; CHERKUPALLY; AMBALLA; BHOOMI 2017). O *B. viridifuturi* produzem auxina, amilase, lipase, protease (OLIVEIRA -LONGATTI et al., 2014; SILVA et al., 2017). A síntese dessas enzimas extracelulares participa de diversos mecanismos regulatórios de inibição e indução, e podem atuar como eliciadores na ativação do mecanismo de defesa por degradarem componentes estruturais presentes na parede celular fúngica (YASMIN et al., 2020).

A emissão de compostos voláteis pelo antagonista, pode induzir o mecanismo de defesa da planta, e assim, atuar na supressão da doença (SHARIFI; RYU, 2016). Os compostos voláteis, abrange ampla gama de aldeídos, álcoois, ésteres, ácidos carboxílicos e cetonas, que permite que suas moléculas se difundam rapidamente a longa distância entre as partículas do solo, e atuam tanto

como eliciadores na indução de resistência sistêmica, quanto promotores de crescimento vegetal (SYED-AB-RAHMAN et al., 2019). Isto pôde ser observado no experimento *in vivo*, em que mudas inoculadas com os MPCP e cultivadas com [Si+] proveniente de ROCHA silicatada, apresentaram menor severidade da doença (Tabela 1).

A menor inibição dos isolados de Fop (CMF3115 e 3116) em confronto com o isolado *A. spanius* (Tabela 1, Figura 1) pode estar associada a baixa emissão dos compostos voláteis, que refletem no estímulo e efetividade do composto na ação antagônica (WHEATLEY, 2002), tornando esse isolado insuficiente para promover inibição expressivas do crescimento micelial do Fop.

Os compostos voláteis produzidos pelos antagonistas alteraram a morfologia das colônias dos isolados de Fop, com variações pigmentares (Figuras 2). A pigmentação micelial é caracterizada pela síntese de melanina e de compostos com estrutura química semelhante à melanina, que são metabólitos secundários de composição fenólica ou indólica (TOLEDO et al., 2017). Esses metabólitos são armazenados na parede celular fúngica, a qual protege contra radiação, oxidação, temperaturas extremas, ação enzimática e a microrganismo e confere rigidez estrutural às paredes celulares, pois armazena H₂O e íons, e assim evita a dessecação e o estresse osmótico (SILETTI; ZEINER; TALBOT, 2019). A produção de exopolissacarídeos como celulose e amido pelos microrganismos formam um biofilme ao redor do sistema radicular e, contribui com a formação de microhabitat, que reduz a perda de água pela raiz (AHMAD et al., 2018; GODINHO et al., 2019).

As porcentagens de inibição micelial, obtidas no presente estudo, evidenciam que grande parte do antagonismo a fungos patogênicos é por confrontação direta. Dentre os isolados do fitopatógeno avaliados, o CMF3115 mostra-se o mais agressivo (Tabela 1). Tal resultado também foi evidenciado em condições *in vivo* em plântulas de maracujazeiro, em que o isolado CMF3115, foi o mais agressivo com 70% de plantas mortas. Além disso foi responsável no ensaio de Pires et al. (2022) por produzir maior número de clamidósporos nas raízes do maracujazeiro, em relação aos demais isolados inclusive o CMF3116, utilizado no nosso estudo.

A fusariose pode desencadear inúmeras alterações morfofisiológicas e bioquímicas na planta, como: redução da área foliar, fechamento estomático,

inibição fotossintética, desestabilização de membranas e proteínas, aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, necrose das folhas, abscisão foliar, redução do crescimento do sistema radicular e murcha vascular (PLOETZ, 2015; MELO et al., 2020; LIMA et al., 2021; PIRES et al., 2022). Assim, houve redução dos índices de clorofila, quando as mudas foram submetidas ao controle com Fop, sem MPCP (Tabelas 3, 4 e 5).

As notas baixas em relação a agressividade do isolado de Fop (CMF3115), atribui-se ao fato de não haver plantas mortas nos dois experimentos (Figura 4). Esse resultado pode estar relacionado ao mecanismo de resistência das plantas, potencializado com as ações benéficas dos MPCP e do [Si+]. Esses mecanismos reduziram o desenvolvimento da doença, mas não bloquearam a penetração do patógeno (LI et al., 2015; FERREIRA et al., 2020). A ausência de morte, deve-se a resposta da planta em relação a infecção e a colonização do Fop. Alguns mecanismos de resistência são formados após a infecção, de tal modo que o patógeno entra nos tecidos, mas não pode se estabelecer devido a resposta de resistência da planta ser mais rápida (LI et al., 2015). A resistência induzida, está associada ao aumento da atividade de enzimas, como peroxidases e polifenol oxidase e a produção de sideróforos (TONELLI, et al., 2020), fitoquímicos como fenólicos, flavonóides e fitoalexinas (MABROUK, et al., 2018).

A inoculação dos MPCP no substrato de cultivo, antes do estabelecimento do patógeno experimento 2, foi mais eficiente na redução da fusariose, em relação ao experimento 1. Isto evidencia que há um maior estímulo de resistência das mudas, no experimento 1. Mas, em ambos os experimentos foram promissores, com resultados superiores ao controle absoluto. O desempenho das mudas submetidas ao MPCP + [Si+] + Fop, excedeu o das mudas submetidas ao controle apenas com Fop. Nos dois experimentos avaliados, as mudas inoculadas com MPCP e cultivadas com [Si-] foram mais susceptíveis ao Fop que as mudas cultivadas com [Si+], nos sintomas externos e internos e severidade da doença, tendo maiores sintomas em mudas infestadas apenas com Fop (Figura 4). Entretanto no experimento 2, houve menor escala de nota 4 nos sintomas externos e internos, em relação ao experimento 1 (Figura 4).

Mudas infestadas com o Fop na ausência de [Si-], apresentaram 100% da nota 4 nos sintomas internos (Figura 4). O ácido fusárico, além de apresentar alta toxicidade as plantas, induz suas células a uma explosão oxidativa resultante da

rápida produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (SINGH et al., 2017), tendo como consequência, a perda da estabilidade da membrana celular e homeostase celular e ruptura das células (ALEXANDER et al., 2019). O uso de [Si+], além de nutrir as mudas tornou mais resistentes ao Fop, uma vez que, o silício confere maior rigidez dos tecidos, potencializa a síntese de enzimas antioxidantes relacionadas aos mecanismos de defesa das plantas contra a espécie reativa de oxigênio e fortalece a parede celular das folhas e dos caules (WANGET al., 2017; LANNA et al., 2021). O silício quando depositado na epiderme da planta é capaz de impedir e/ou retardar a penetração do fungo, através da formação de barreira mecânica que gera redução do número de pontos infectados em que conseqüentemente, as lesões são retardadas ou não se desenvolve, com aumento de períodos de incubação e latência (LANNA et al., 2021).

A fusariose foi caracterizada por uma lesão situada na região entre as raízes e o caule do maracujazeiro. Em corte longitudinal da raiz pivotante e do caule, percebe-se a presença de estrias avermelhadas no feixe vascular, indicando a colonização do Fop. O caule apresentou rachaduras e descoloração vascular marrom escura nos feixes vasculares e necrose em direção à medula. A produção de toxinas realizadas pelos fungos em tecidos das plantas provoca morte celular afetando diretamente suas funções de transporte de água e nutrientes (PLOETZ, 2015). O ácido fusárico e beauvericina, são algumas das principais toxinas produzidas pelo *Fusarium* (PORTAL et al., 2018).

As mudas infestadas com Fop apresentaram amarelecimento e posteriormente, queda das folhas, típicos dos sintomas da murcha do *Fusarium*. Isso porque, ocorre a obstrução de vasos condutores (xilema e floema), interrompendo o fluxo de líquido e nutrientes, fazendo com que a planta murche, evidenciando sintomas reflexos na parte aérea (ZACHARIAS et al., 2016).

Os resultados revelam que mesmo as mudas sendo suscetíveis ao Fop, com a inoculação dos MPCP, principalmente do *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum* e cultivadas [Si+], houve redução dos sintomas, em relação as plantas infestadas com Fop, sem MPCP e sem [Si-] (Figuras 4A e D). Assim, o estabelecimento de uma associação funcional (planta x microrganismos) é capaz de limitar o desenvolvimento dos sintomas e favorecer o aumento de ácido salicílico e uma modulação de genes que limitam o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (MIOZZI et al., 2020).

A utilização [Si+] contribuiu para redução dos sintomas, provavelmente, por atuar como sinalizador bioquímico, criando barreiras através da formação de compostos fenólicos e aumento na atividade de enzimas que participam do sistema de proteção da planta, como quitinases, peroxidases, lipoxigenases, polifenoloxidasas, β -1,3-glucanases e fenilalanina amônia-liases, e pode atuar a nível molecular através da regulação de genes envolvidos no sistema de defesa das plantas (WANGET al., 2017). Além de acumula-se nos tecidos das plantas formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose na parede celular, na qual incrementa a matéria seca do tecido vegetal (SOUSA et al., 2018). Esta camada protetora apresenta relação positiva com a proteção mecânica da epiderme da planta contra estresses bióticos e abióticos como o déficit hídrico, funcionando como uma barreira física e regulador osmótico na célula da raiz, que aumenta a atividade da aquaporina, responsável pelo aumento da absorção de água, o que confere melhor permeabilidade, e assim resulta em células mais túrgidas, com maior resistência (CHEN et al., 2018; ARAÚJO et al., 2022).

O *T. asperellum* desenvolveu melhor seus mecanismos de ação sobre o patógeno quando inoculado antes do estabelecimento do Fop, conferindo maior resistência das plantas a fusariose e maior crescimento das mudas (Tabelas 3, 4, 5 e 6), por produzir hormônios de crescimento (AHMAD et al., 2018; MOREIRA et al., 2021), proporcionar maior desenvolvimento radicular, solubilizar os nutrientes e aumentar sua absorção e criar barreiras químicas que impedi o crescimento expressivo do patógeno, através da excreção de enzimas líticas extracelulares (CHERKUPALLY; AMBALLA; BHOOMI, 2017; WHOO et al., 2023). Produz compostos bioativos que atuam como eliciadores na indução da resistência sistêmica e modulam sinais hormonais nas diferentes vias metabólicas, conferindo regulação de genes envolvidos no mecanismo de defesa da planta ao fitopatógeno (GUO et al., 2020; ESLAHI et al., 2022; WHOO et al., 2023).

Em relação ao crescimento das mudas acometidas pelo Fop, quando cultivadas com [Si+] e inoculadas com *Bacillus* sp., *B. viridifuturi* e *T. asperellum* obtiveram aumento nos índices de clorofilas, associadas ao aumento das massas secas (Tabelas 4, 5 e 6). O Si induz maior absorção de CO₂, e atua no aumento da eficiência fotossintética (FERRAZ et al., 2014). As bactérias atuam na indução de resistência sistêmica das plantas ao patógeno e ativam seu sistema de defesa como a produção de moléculas quelantes de íons, que resultam na inibição da

atividade do patógeno na rizosfera (TONELLI, et al., 2020) e produção de moléculas análogas à fitormônios como o ácido indo-acético. O que evidencia, a influência da composição da microbiota em conjunto com [Si+] no crescimento vegetal e redução da severidade da fusariose, cuja as atividades microbianas são fundamentais para o funcionamento das plantas, nas quais auxiliam na absorção de nutrientes disponíveis (KHATOON, et al., 2020).

A interrupção do crescimento micelial do Fop e redução da incidência de murcha no maracujazeiro, é atribuída a inoculação e ao [Si+]. Em que, mudas mesmo sob condições de estresse biótico, obtiveram maior crescimento e acúmulos de N, P e K (Tabela 4, 5, 6). A quantidade de metabólitos antifúngicos produzidos pelos MPCP no substrato de cultivo afetou o desenvolvimento do Fop, principalmente no experimento 2. Compostos voláteis produzidos pelos microrganismos benéficos têm induzido alterações na permeabilidade da membrana plasmática da célula fúngica, inibindo a ação do fitopatógeno (CRUZ-MARTÍN et al., 2021).

Durante as interações ecológicas, o crescimento moderado de fungos como *Fusarium oxysporum* podem fornecer às estirpes bacterianas antagonistas mais tempo para produzir metabólitos antifúngicos e, portanto, apresentar maior efeito inibitório (ARROYAVE-TORO; MOSQUERA; VILLEGAS-ESCOBAR, 2017). Condição que, em campo, pode favorecer o processo de colonização e estabelecimento rizosférico de bactérias que apresentam rápido crescimento, como o gênero *Bacillus*. Isso porque as bactérias possuem alta afinidade de ocupação do ambiente rizosférico e assim, inibem diretamente o desenvolvimento de patógenos (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016).

As mudas cultivadas com [Si+] e com *Bacillus* sp., *T. asperellum* e *B. viridifuturi* obtiveram maiores comprimento, volume e diâmetro das raízes (Tabelas 3, 4 e 5), conforme Ahmad et al. (2018), Moreira et al. (2021), Grover et al. (2021) e Sousa et al., (2022). O aumento do volume e diâmetro da raiz contribuiu nas limitações a penetração da hifa do patógeno com maior intensidade, pois confere maior resistência morfológica, enquanto que as raízes finas podem promover a disponibilidade de nutrientes via exsudação radicular e ciclagem de C, concentrada em um espaço físico que funcionam em combinação para impulsionar a diversidade microbiana e a interação benéfica (KAVAMURA et al., 2020; HERMES et al., 2022).

O *B. viridifuturi*, *A. spanius*, e *B. proteolyticus*, solubilizaram o K⁺ e Si proveniente de pó de rocha silicatada, conforme demonstrado no capítulo 2 (BRAULIO, 2023), desse modo, favorece a liberação mais rápida desses nutrientes para a absorção, assim como o *Bacillus* sp. e *T. asperellum*, que são bastantes conhecidos neste processo. A nutrição das plantas é fundamental no manejo de doenças, pois a ação conjunta dos nutrientes, impossibilita o desenvolvimento fúngico através de mecanismos de inibição do patógeno (MORALES et al., 2012; VILA et al., 2021). O fornecimento de nutrientes através do pó de rocha [Si+] pode auxiliar e/ou controlar o Fop. Um dos macronutrientes de maior influência sobre as doenças é o K, pois age aumentando a espessura da parede celular, proporcionando maior rigidez dos tecidos e promovendo a rápida recuperação após injúrias (BASSETO et al., 2007).

Nossos resultados revelam o potencial dos MPCP associado ao [Si+] no controle da fusariose durante a fase de mudas de maracujá, principalmente quando inoculadas com *Bacillus* sp., seguido do *T. asperellum* e *B. viridifuturi*.

5. CONCLUSÕES

O isolado de *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae* (CMF3115) mostrou-se o mais agressivo aos microrganismos promotores de crescimento, dentre os isolados avaliados *in vitro*. A estirpe *Bacillus* sp., seguido do *Trichoderma asperellum* e *Bradyrhizobium viridifuturi* (UFLA 03-84) e os isolados *Bacillus proteolyticus* (UFRB FA72A2-1) e *Achromobacter spanius* (UFRBFA34C2-2) apresentam maior inibição do crescimento micelial do fitopatógeno, através do contato direto e produção de metabólitos voláteis e difusíveis. Esse efeito também foi observado nos experimentos *in vivo*, sendo potencializado pela associação com silício. Inoculação com *Bacillus* sp. em conjunto com adubação silicatada protege as mudas de maracujazeiro contra os danos causados pelo *F. oxysporum* f. sp. *passiflorae*.

6. REFERÊNCIAS

ADIBI, A.; REES, E.R.; MCCARLEY, S.; SICA, V.P.; OBERLIES, N.H. Characterization and isolation of peptide metabolites of an antifungal bacterial isolate identified as *Bacillus amyloliquefaciens* subspecies plantarum strain FZB42.

The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, v.6, n.6, p.1309, 2017.

ALEXANDER, A.; SINGH, V.K.; MISHRA, A.; JHA, B. Plant growth promoting rhizobacterium *Stenotrophomonas maltophilia* BJ01 augments endurance against N₂ starvation by modulating physiology and biochemical activities of *Arachis hypogea*. **PLoS ONE**, v.14, n.9, 2019.

ANDRADE JUNIOR, E.R.; CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A.Q.; VILELA, P.M.C.A. Aplicação de programas de adubação foliar com silício e potássio associados a fungicidas no controle de ferrugem asiática na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v.31, p.18-24, 2015.

AHMAD, M.; PATACZEK, L.; HILGER, T.H.; ZAHIR, Z.A.; HUSSAIN, A.; RASCHE, F.; SCHAFEITNER, R.; SOLBERG, S. Perspectives of microbial inoculation for sustainable development and environmental management. **Frontiers in Microbiology**, v.9, p.2992, 2018.

ARROYAVE-TORO, J.J.; MOSQUERA, S.; VILLEGAS-ESCOBAR, V. Biocontrol activity of *Bacillus subtilis* EA-CB0015 cells and lipopeptides against postharvest fungal pathogens. **Biological Control**, v.114, n.7, p.195-200, 2017.

ARAÚJO, V.S.; SOUSA, T.K.R.; NOBRE, R.S.; SANTOS, C.M.; NEGREIROS, K.K.S.; CARVALHO, A.C.C.; VELOSO, F.S.; VELOSO, R.C.; REZENDE, J.S. Influence of foliar application of silicon on the development and productivity of corn under water deficit in the semi-arid region of Piauí. **Research, Society and Development**, [S. l.], v.11, n.5, p.e25711528051, 2022.

BAUERMEISTER, A.; REZENDE, M.I.; GIESE, E.C.; DEKKER, R.F.H.; BARBOSA, A.M. β-1,3-Glucanases Fúngicas: produção e aplicações biotecnológicas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.31, n.2, p.75-86, 2010.

BOLÍVAR-ANILLO, H.J.; GARRIDO, C.; COLLADO, I.G. Endophytic microorganisms for biocontrol of the phytopathogenic fungus *Botrytis cinérea*. **Phytochemistry Reviews**, p.1-20, 2019.

BUENO, C.J.; FISCHER, I.H.; PARISI, M.C.M.; FURTADO, E.L. Comportamento do maracujazeiro amarelo, variedade Afruvec, ante uma população de *Fusarium solani*, agente causal da podridão do caule. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.77, n.3, p.533-537, 2010.

BRASIL. **Instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011**. Anexo – protocolo oficial para avaliação da viabilidade e eficiência agronômica de cepas, inoculantes e tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2011.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid caulerimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CAWOY, H.; DEBOIS, D.; FRANZIL, L.; PAUW, E.; THONART, P.; ONGENA, M. Lipopeptides as main ingredients for inhibition of fungal phytopathogens by *Bacillus subtilis*/amyloliquefaciens. **Microbial Biotechnology**, v.8, n.2, p.281- 295, 2015.

COSSUS, L.; ROUX-DALVAI, F.; KELLY, I.; NGUYEN, T.T.A.; ANTOUN, H.; DROIT, A.; TWEDDELL, R.J. Interactions with plant pathogens influence lipopeptides production and antimicrobial activity of *Bacillus subtilis* strain PTB185. **Biological Control**, v.154, 2021.

COSTA, E.M.; CARVALHO, T.S.; GUIMARÃES, A.A.; LEÃO, A.C.R. CRUZ, L.M.; BAURA, V.A.; LEBBE, L.; WILLEMS, A.; MOREIRA, F.M.S. Classification of the inoculant strain of cowpea UFLA03-84 and of other strains from soils of the Amazon region as *Bradyrhizobium viridifuturi* (symbiovar tropici), **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, p.335-345, 2019.

CHANG, W.T.; CHEN, C.S.; WANG, S.L. And antifungal chitinase produced by *Bacillus cereus* with shrimp and crab shell powder as a carbon source. **Current Microbiology**, v.47, p.102-108, 2003.

CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency? **Frontiers in Plant Science**, v.9, n.281, p.1-7, 2018.

CHERKUPALLY, R.; AMBALLA, H.; BHOOMI, N.R. *In vitro* screening for enzymatic activity of *Trichoderma species* for biocontrol potential. **Annals of Plant Sciences**, v.6, n.11, p. 784, 2017.

CRUZ-MARTÍN, M. LEIVA, L.; ACOSTA-SUÁREZ, M.; PICBARDO, T.; BERMÚDEZ-CARABALLOSO, I.; ALVARADO-CAPÓ, Y. Actividad antifúngica de *Bacillus amyloliquefaciens* contra *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense raza 1. **Agronomía Mesoamericana**, v.32, n.2, p.466-478, 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627p.

ESLAHI, N.; KOWSARI, M.; ZAMANI, M.R.; MOTALLEBI, M. Correlation Study Between Biochemical and Molecular Pathways of *Trichoderma harzianum* Recombinant Strains on Plant Growth and Health. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.4, p.1561-1577, 2022.

FERRAZ, R.L.S.; BELTRÃO, N.E.M.; MELO, A.S.; MAGALHÃES, I.D.; FERNANDES, P.D.; ROCHA, M.S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de Algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.735-748, 2014.

FERREIRA, M.S.; MOURA, E.R.; LINO, L.S.M.; AMORIM, E.P.; SANTOS-SEREJO, J.A.; HADDAD, F. Selection of somaclonal variants of the cultivar 'Prata-Anã' for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense race 1. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.42, n. 6, p. 1-10, 2020.

GABARDO, G.; PRIA, M.D.; PRESTES, A.M.C.; SILVA, H.L. *Trichoderma asperellum* and *Bacillus subtilis* as antagonists in the growth of phytopathogenic fungi *in vitro*. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, p.55870–55885, 2020.

GAJERA, H.P.; HIRPARA, D.G.; KATAKPARA, Z.A.; PATEL, S.V.; GOLAKIYA, B.A. Molecular evolution and phylogenetic analysis of biocontrol genes acquired from SCoT polymorphism of mycoparasitic *Trichoderma koningii* inhibiting phytopathogen *Rhizoctonia solani* Kuhn. **Infection, Genetics and Evolution**, v.45, p.383-392, 2016.

GODINHO, B.T.V.; TAVARES, A.N.G.; LANA, U.G.P.; SOUSA, S.M.; PAIVA, C.A.O.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A. Isolamento e potencial uso de bactérias do gênero *Bacillus* na promoção de crescimento de plantas em condições de déficit hídrico. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 192. Embrapa Milho e Sorgo, 24 p., 2019.

GUERRIERO, G.; HAUSMAN, J. F.; LEGAY, S. Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-9, 2016.

GUO-CHAO, Y.; NIKOLIC, M.; UM-JUN, Y.; ZHUO-XI, X.; YONG-CHAO, L. Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. **Journal of Integrative Agriculture**, v.17, n. 0, p.2138-2150, 2018.

GUO, R.; WANG, Z.; ZHOU, C.; LIU, Z.; ZHANG, P.; FAN, H. Transcriptomic analysis reveals biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* ACCC30371 under eight culture conditions. **Journal of Forestry Research**, v.31, n.5, p. 1863-1873, 2020. 1

GROVER, M.; BODHANKAR, S.; SHARMA, A.; SHARMA, P.; SINGH, J.; NAIN, L. PGPR mediated alterations in root traits: way toward sustainable crop production. **Front Sustain Food Syst**, v.4, p.618230, 2021.

HERMES, C.H.; HENNESSY, R.C.; BAK, F.; DRESBOLL, D.B.; NICOLAISEN, M.H. Back to our roots: exploring the role of root morphology as a mediator of beneficial plant–microbe interactions. **Environmental Microbiology**, v.24, n.8, p.3264-3272, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de maracujá**, 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

KAVAMURA, V.N.; ROBINSON, R.J.; HUGHES, D.; CLARK, I.; ROSSMANN, M.; MELO, I.S.; HIRSCH, P.R.; MENDES, R.; MAUCLINE, T.H. Wheat dwarfing influences selection of the rhizosphere microbiome. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1452, 2020.

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, 2020.

LANNA, A.C.; FERREIRA, C.M.; FILIPPI, M.C.C. Importância do silício para a sustentabilidade da produção de arroz de terras altas do Cerrado Brasileiro. **Embrapa, Comunicado Técnico**, 259, 2021.

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B.; SOARES, A.L.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. **Revista Ceres**, v.51, p.67-82, 2004.

LAZAROVITS, G.; TURNBULL, A.; JOHNSTON-MONJE, D. Plant health management: biological control of plant pathogens. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, v.4, p.388-399, 2014.

LÊ S, JOSSE J, HUSSON F. "FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis." *Journal of Statistical Software*, v. 25, n.1, p.1-18, 2008.

LI, W.; GE, X.; WANG, W.; HU, Y.; MO, Y.; XIE, J. Identification of defense-related genes in banana roots infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4. **Euphytica**, v.205, n.3, p.837-849, 2015.

LINHARES, G.A.N. **Fontes de silício em mamoeiro e maracujazeiro: crescimento, fisiologia e indução de resistência**. Campos dos goytacazes – Rio de Janeiro, Brasil. 2019. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Dacy RIBEIRO. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2019/07/tese-Gabriella-Linhares-vers%C3%A3o-final-com-assinatura-certo.pdf>. Acesso em 10 jun. 2023.

LIMA, G.S.; ROCHA, L.S.; SANTOS-FILHO, H.P.; MICHEREFF, S.J.; LARANJEIRA, F.F. Modeling the spread of *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* in simulated physical microenvironment. **Tropical Plant Pathology**, v.46, p.282-293, 2021.

LIMA, L.K.S.; JESUS, O.N.; SOARES, T.L.; OLIVEIRA, S.A.S.; HADDAD, F.; GIRARDI, E.A. Water deficit increases the susceptibility of yellow passion fruit seedlings to *Fusarium* wilt in controlled conditions. **Scientia Horticulturae**, v.3, p.609-621, 2019.

LÓPEZ-CORIA, M.; HERNÁNDEZ-MENDOZA, J.L.; SÁNCHEZ-NIETO, S. *Trichoderma asperellum* induces maize seedlings growth by activating the plasma membrane H⁺-ATPase. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v.29, n.10, p.797-806, 2016.

MARIANO, R.L.R. Métodos de seleção "in vitro" para controle microbiológico. **Revisão Anual de patologia de Planta**, v.1, p.369-409, 2018.

MABROUK, Y.; HEMISSI, I.; SALEM, I.B.; MEJRI, S.; SAIDI, M.; BELHADJ, O. Potential of Rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes. **Symbiosis**, v.107, n.73495, p.1-16, 2018.

MELO, N.J.A.; NEGREIROS, A.M.P.; MEDEIROS, H.L.S.; SALES JÚNIOR, R. Evaluation of *Fusarium* wilt disease in passion fruit species inoculated with *Fusarium oxysporum* f.sp. *passiflorae*. **Journal of Phytopathology**, v.168, n.2, p.81-87, 2020.

MENTEN, J.O.M.; MENTEN, J.O.M.; MACHADO, C.C.; MINUSSI, E.; CASTRO, C.; MENTEN, J.; MACHADO, C.C.; CASTRO, C.; KIMATI, H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. "in vitro". **Fitopatologia Brasileira**, v.1, n.2, p.57-66, 1976.

MIOZZI, L.; VAIRA, A. M.; BRILLI, F.; CASARIN, V.; BERTI, M.; FERRANDINO, A.; NERVA, L.; ACCOTTO, G.P.; LANFRANCO, L. Arbuscular mycorrhizal symbiosis primes tolerance to cucumber mosaic virus in tomato. **Viruses**, v.12, n.6, p.1-19, 2020.

MENTEN, J.O.M.; MINUSSI, C.C.; CASTRO, C.; KIMATI, H. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. "in vitro". **Fitopatologia Brasileira**, v.1, n.2, p.57- 66, 1976.

MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.; BORGES, A.L.; SILVA, L.D.; HADDAD, F. Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. **South African Journal of Botany**, v.137, p.249-256, 2021.

NÓBREGA, R.S.A.; MOTTA, J.S; LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S. Tolerância de bactérias diazotróficas simbióticas à salinidade *in vitro*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, p.899-905, 2004.

OLIVEIRA -LONGATTI, S.M.; MARRA, L.M.; SOARES, B.L; BOMFETI, C.A.; SILVA, K.; FERREIRA, P.A.A.; MOREIRA, M.F.S. Bacteria from soils in the Western Amazon and from areas rehabilitated from bauxite mining have potential as plant growth promoters. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.30, p.1239-1250, 2014.

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v.55, p.158-161, 1970.

PIRES, R.A.; JESUS, O.N.; LIMA, L.K.S.; SILVA, L.N.; LARANJEIRA, F.F. *Fusarium oxysporum* f. sp. *passiflorae* isolates display variable virulence in *Passiflora edulis* Sims seedlings. **European Journal of Plant Pathology**, v.162, p.465-476, 2022.

PORTAL, N.; SOLER, A.; ALPHONSINE, P.A.M.; BORRAS HIDALGO, O.; PORTIELES, R.; PEÑARODRIGUEZ, L.M.; WALTON, J.D. Nonspecific toxins as

components of a host specific culture filtrate from *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1. **Plant Pathology**, v.67, n.2, p.467-476, 2018.

PLOETZ, R.C. *Fusarium* Wilt of Banana. **Phytopathology**, v.105, p.1512-1521, 2015.

QUIÑONES-AGUILAR, E.E.; ALFREDO REYES-TENA, A.; HERNÁNDEZ-MONTIEL, L.G.; RINCÓN-ENRÍQUEZ, G. Bacteriófagos en el control biológico de *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* agente causal del tizón de halo del frijol. **Ecosistemas y recursos agropecuarios**, v.5, n.14, 2018.

ROCHA, F.Y.O.; OLIVEIRA, C.M.; SILVA, P.R.A.; MELO, L.H.V.; Carmo, M. G. F.; BALDANI, J.I. Taxonomical and functional characterization of *Bacillus* strains isolated from tomato plants and their biocontrol activity against races 1, 2 and 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Applied Soil Ecology**, v.120, p.8-19, 2017.

RODRIGUES, G.L.; MATTEOLI, F.P.; GAZARA, R.K.; RODRIGUES, P.S.L.; SANTOS, S.T.; ALVES, A.F.; PEDROSA-SILVA, F.; OLIVEIRA-PINHEIRO.; CANEDO-ALVARENGA, D.; OLIVARES, F.L.; VENACIO, T.M. Characterization of cellular, biochemical and genomic features of the diazotrophic plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* sp. UENF-412522, a novel member of the *Azospirillum* genus. **Microbiological Research**, v.254, p.126896, 2022.

ROMAGNOLI, E.M.; ANDREOTE, F.D. Rizosfera. In: Dias, A. C (Org.). Microbiologia do solo. Piracicaba: ESALQ, 2016. p.47- 60.

R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**. URL <https://www.Rproject.org/>.

SANTOS, R.M.; RIGOBELLO, E.C. Growth-promoting potential of rhizobacteria isolated from sugarcane. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.5, 2021.

SILETTI, C.E.; ZEINER, C.A.; TALBOT, J.M. Distributions of fungal melanin across species and soils. **Researchgate**, n.509, p.1-21, 2019.

SILVA, H.S.A.; ROMEIRO, R.S.; MACAGNAN, D.; HALFELD-VIEIRA, B.D.; BARACAT-PEREIRA, M.C.; MOUNTEER, A. Rhizobacterial induction of systemic resistance in tomato plants: non-specific protection and increase in enzyme activities. **Biological Control**, v. 29, p.288-295, 2004.

SILVA, C.F.B.; BRITO, T.L.; TANIGUCHI, C.A.K.; LOPES, L.A.; PINTO, G.A.S.; CARVALHO, A.C.P.P. Growth-promoting potential of bacterial biomass in the banana micropropagated plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.11, p.782-787, 2018.

SILVA, L.; TORRES, É.; NÓBREGA, R.S.A; LOPES, G.; VOGADO, R.; PAVAN, B.; FERNANDES-JUNIOR, P. Biochemical studies of amylase, lipase and protease in *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) populations fed with *Vigna*

unguiculata grain cultivated with diazotrophic bacteria strains. **Boletim de Pesquisa Entomológica**, v.107, n.6, p.820-827, 2017.

SILVEIRA, A.A.; ANDRADE, J.P.; GUISSONI, A.C.P.; SILVA, H.G.; SOUZA, G.L.; FERNANDES, K.F. Biotechnological application of chitinolytic enzymes from *Trichoderma asperellum* for the biocontrol of *Aedes aegypti*. **Journal of Biotechnology**, v.256, p.110, 2017.

SINGH, V.K.; SINGH, H.B.; UPADHYAY, R.S. Role of fusaric acid in the development of 'Fusarium wilt' symptoms in tomato: physiological, biochemical and proteomic perspectives. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.118, p.320-332, 2017.

SOUSA, T.P.; SOUZA, A.C.A.; FILIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; CORTÊS, M.V.B.; PINHEIRO, H.A.; SILVA, G.B. Bioagents and silicon promoting fast early upland rice growth. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.4, p.3657-3668, 2018.

SOUSA, J.X. **Promoção do crescimento vegetal por bactérias diazotróficas no feijão-caupi**. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. 2017. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas). Disponível: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=6134874. Acesso em 15 jun. 2023. Acesso em 10 jul. 2023.

SOUSA, J.X.; CORREIA, A.J.; DIAS, A.J.C.; SILVA, C.C.; LEAL, P.L.; ROCABADO, J.M.A.; MORREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A. The *Bradyrhizobium uaiense* strain UFLA 03-164^T enhanced yield performance of cowpea in soils with low or high phosphorus content. **Bioscience Journal**, v.38, n.e38065, p.1981-3163, 2022.

SOLDAN, A.; WATZLAWICK, L.F.; BOTELHO, R.V.; FARIA, C.M.D.; MAIA, A.J. Development of forestry species inoculated with *Trichoderma* spp. fertilized with rock phosphate. **Floresta e Ambiente**, v.25, n. 4, 2018.

SHARIFI, R.; RYU, C.M. Are bacterial volatile compounds poisonous odors to a fungal pathogen *Botrytis cinerea*, alarm signals to arabidopsis seedlings for eliciting induced resistance, or both? **Frontiers in Microbiology**, v.7, p.1-10, 2016.

SHIFA, H.; GOPALAKRISHNAN, C.; VELAZHAHAN, R. Characterization of antifungal antibiotics produced by *Bacillus subtilis* G1 antagonistic to *Sclerotium rolfsii*. **Biochemical and Cellular Archives**, v.15, p.99-104, 2015.

SRIDHARAN, A.P.; THANGAPPAN, S.; KARTHIKEYAN, G.; NAKKEERAN, S.; UTHANDI, S. Metabolites of *Trichoderma longibrachiatum* EF5 inhibits soil borne pathogen, *Macrophomina phaseolina* by triggering amino sugar metabolism. **Microbial Pathogenesis**, v.150, 2021.

STEFFEN, G.P.K.; MALDANER, J. Metodologia para multiplicação de *Trichoderma* sp. em substratos orgânicos. **BOLETIM TÉCNICO: pesquisa e desenvolvimento**. – Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2019. 22 p.; il.

SYED-AB-RAHMAN, S.F.; CARVALHAIS, L.C.; CHUA, E.T.; CHUNG, F.Y.; MOYLE, P.M.; ELTANAHY, E.G.; SCHENK, P.M. Soil bacterial diffusible and volatile organic compounds inhibit *Phytophthora capsici* and promote plant growth. **Science of the Total Environment**, v.692, p.267-280, 2019.

TIAN, L.; LIN, X.; TIAN, J.; JI, L.; CHEN, Y.; TRAN, L.S.P.; TIAN, C. Research advances of beneficial microbiota associated with crop plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.21, n.5, p.1-18, 2020.

TOLEDO, A.V.; FRANCO, M.E.E.; LOPEZ, S.M.Y.; TRONCOZO, M.I.; SAPARRAT, M.C.N.; BALATTI, P.A. Melanins in fungi: Types, localization and putative biological roles. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.99, p.2-6, 2017.

TONELLI, M.L.; FIGUEREDO, M.S.; RODRÍGUEZ, J.; FABRA, A.; IBAÑEZ, F. Induced systemic resistance -like responses elicited by rhizobia. **Plant and Soil**, v. 448, n.12, p.1-14, 2020.

TRINH, L.L.; NGUYEN, A.M.L.; NGUYEN, H.H. Root-associated bacteria *Bacillus albus* and *Bacillus proteolyticus* promote the growth of peanut seedlings and protect them from the aflatoxigenic *Aspergillus flavus* CDP2. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.47, p.102582, 2023.

VILA, V.V.; REZENDE, R.; SILVA, L.H.M.; NOCCHI, R.C.F.; ANDREAN, A.F., B.; WENNECK, G.S.; TERASSI, D.S.; PINTRO, P.T.M. Microbiota do solo na tolerância de doenças em plantas: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v.10, n.8, p.e25910817161, 2021.

WANG, M.; GAO, L.; DONG, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. Role of silicon on plant-pathogen interactions. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.701, 2017.

WHEATLEY, R.E. The consequences of volatile organic compound mediated bacterial and fungal interactions. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v.81, p.357-364, 2002.

WOO, S.L.; HERMOSA, R.; LORITO, M.; MONTE, E. *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. **Nature Reviews Microbiology**, v.21, p.312-326, 2023.

YANG, P.; ZHAO, Z.; FÃ, J.; LIANG, Y.; BERNIER, M.C.; GAO, Y.; ZHAO, L.; OPIYO, S.O.; XIA, Y. *Bacillus proteolyticus* OSUB18 triggers induced systemic resistance against bacterial and fungal pathogens in *Arabidopsis*. **Frontiers in Plant Science**, v.14, p.1078100, 2013.