



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Priscila Helena Machado

**Bioprospecção de rizobactérias promotoras do
crescimento de plantas isoladas de espécies nativas da
Caatinga, semiárido pernambucano**

Petrolina-PE
2023

Priscila Helena Machado

**Bioprospecção de rizobactérias promotoras do
crescimento vegetal isoladas de plantas nativas da
Caatinga, semiárido pernambucano**

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação
em Agronomia – Produção
Vegetal do *Campus*
Ciências Agrárias da
Universidade Federal do
Vale do São Francisco,
como parte dos requisitos
para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia –
Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Bruno
Coutinho Moreira

Petrolina-PE
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Priscila Helena Machado

Bioprospecção de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal isoladas de plantas nativas da caatinga, semiárido pernambucano

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 12 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente



BRUNO COUTINHO MOREIRA

Data: 12/03/2024 15:22:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bruno Coutinho Moreira, Prof. Doutor em Microbiologia Agrícola, UNIVASF

Documento assinado digitalmente



IZAÍAS DA SILVA LIMA NETO

Data: 11/03/2024 19:12:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Izaías da Silva Lima Neto, Prof. Pós Doutor em Fitotecnia, UNIVASF

Documento assinado digitalmente



PAULO PRATES JUNIOR

Data: 11/03/2024 19:23:05-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Paulo Prates Junior, Prof. Doutor em Microbiologia Agrícola, IFRO

Machado, Priscila Helena

M149b Bioprospecção de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal isoladas de plantas nativas da Caatinga, semiárido pernambucano/ Priscila Helena Machado.– Petrolina-PE, 2023.

63 f.: il.; 29 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal..) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE , 2023.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Coutinho Moreira.

1. Potencial biotecnológico - Estudo. 2. Sustentabilidade 3. Atividade antagonista. 4. Produção de AIA. I. Título. II. Moreira, Bruno Coutinho (Orient.). III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 582

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF

Bibliotecário: Fábio Santiago

CRB5/1785

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo apoio, acolhimento e compreensão deste momento desafiador e importante para minha carreira profissional.

Ao professor Dr. Bruno Coutinho Moreira do colegiado de Engenharia Agrônômica CEAGRO/UNIVASF pelos ensinamentos e pela disponibilidade em se empenhar para meu crescimento profissional e acadêmico, também por me apresentar este tema tão relevante para a agricultura sustentável.

À professora Dra. Adriana Mayumi Yano Melo, responsável pelo laboratório de microbiologia da UNIVASF por disponibilizar o espaço, pelas conversas e orientação junto ao prof. Dr. Bruno Coutinho Moreira para a realização dos ensaios.

Aos alunos da iniciação científica em especial Luan Gil, Mariana, Almir e Amanda que estiveram ao meu lado durante todo o processo de laboratório na partilha dos conhecimentos, apoio, convivência e toda ajuda prestada com entusiasmo, vocês foram essenciais no processo.

Ao grupo do laboratório de Microbiologia – Luiz Dantas, Maria Clara, Brunara, Mirele, Marcos, Lilian, Érick, Paulo, Esther, Tadeu, Isla, Júnior, Luis, Ana Júlia, Roberta pelos momentos de amizade, alegrias, trocas, apoio e motivação para a realização do projeto. Conviver com vocês foi incrível, aprendi muito e levarei cada momento na lembrança.

Ao técnico de campo Genilson Francisco dos Santos do CEAGRO por toda ajuda prestada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Vale do São Francisco pelo apoio e contribuição para o aprendizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) em parceria com a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa.

RESUMO

A utilização de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) abre oportunidades para uma produção agrícola mais sustentável. O objetivo geral deste trabalho foi realizar a bioprospecção de RPCP cultiváveis em meios de cultura, associadas a raízes de duas plantas nativas do bioma Caatinga: *Cnidocolus quercifolius* Pohl (faveleira) e *Commiphora leptophloeos* (mart.) J.B.Gillett (umburana de cambão) do semiárido pernambucano. Após a obtenção de 40 isolados em culturas puras, os mesmos foram caracterizados quanto à velocidade de crescimento, coloração de Gram e características das colônias; em seguida, foram realizados os testes para avaliação do potencial biotecnológico das RPCP, dentre eles: atividade antagonista *in vitro* por meio do método de cultura dupla contra os patógenos *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. e *Fusarium* sp; potencial para solubilização de fosfatos; do potencial para a fixação biológica de nitrogênio em vida livre; e do potencial para a produção de Ácido Indol Acético (AIA). Alguns isolados foram selecionados para identificação por meio do sequenciamento do gene rDNA 16S. Dos isolados obtidos, 18 foram provenientes da rizosfera de faveleira e 22 de umburana de cambão. Quanto à velocidade de crescimento, 52 % apresentaram crescimento rápido (24 h após inoculação) e 48 % tardio (72 h). Em relação à forma das células, 38 são bacilos e 2 cocobacilos. Foi possível detectar que 77,5 % dos isolados são Gram negativos e 22,5 % são Gram positivos. A ação antagonista em cultura dupla contra os fungos fitopatogênicos *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. e *Fusarium* sp, foi eficaz para 23 isolados. A porcentagem de inibição do crescimento radial do fungo foi calculada e observou-se que o isolado TU38 inibiu 76,6 % do crescimento de *L. theobromae* e 82,3 % do crescimento de *Fusarium* sp., o isolado TF29 inibiu 90,3 % do crescimento de *Macrophomina* sp. Um total de 9 isolados (22,5 %) dos isolados foram capazes de solubilizar fosfato. O índice de solubilização de fosfato variou de 1,15 a 2,81, apresentando índices de solubilização médios ($2 < IS < 4$). Todos os isolados foram capazes de fixar nitrogênio, testados em meios de cultura (livres de N) JMV e LGI. A produção de AIA foi observada em todos os isolados, dentre eles, TU23, RF11, RU5, TF39, TU38 e TF30 apresentaram melhores resultados com produção média de $3,50 \mu\text{g mL}^{-1}$. Sete isolados foram identificados dos quais obtivemos *Priestia megaterium* e *Pseudomonas aeruginosa* conhecidos quanto a atividade

antimicrobiana e por promover crescimento vegetal. Outros como o *Bacillus wiedmannii* e *Lysinibacillus sphaericus* no controle de outros fitopatógenos. Conclui-se que as RPCP isoladas dessas plantas nativas da caatinga possuem potencial biotecnológico para produção de bioinsumo. Com destaque para 23 isolados entre eles RU22 (*Pseudomonas aeruginosa*) e TU23 por serem positivos em todos os testes e os isolados RF11 (*Lysinibacillus sphaericus*), RU26, TF32, TU38 e TF40 sendo promissores por apresentarem melhores resultados globais para atividades antagonistas e promotoras do crescimento vegetal.

Palavras-chave: Potencial biotecnológico, Sustentabilidade, Atividade antagonista, Produção de AIA, Bioinsumo.

ABSTRACT

The use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) opens up opportunities for more sustainable agricultural production. The general objective of this work was to carry out bioprospecting of PGPR cultivable in culture media, associated with the roots of two plants native to the Caatinga biome: *Cnidoscolus quercifolius* Pohl (faveleira) and *Commiphora leptophloeos* (mart.) J.B.Gillett (umburana de cambão) from the semi-arid Pernambuco. After obtaining 40 isolates in pure cultures, they were characterized in terms of growth rate, Gram staining and colony characteristics; then, tests were carried out to evaluate the biotechnological potential of PGPR, including: in vitro antagonistic activity using the double culture method against the pathogens *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. and *Fusarium* sp; potential for phosphate solubilization; the potential for free-living biological nitrogen fixation; and the potential for the production of Indole Acetic Acid (IAA). Some isolates were selected for identification through sequencing of the 16S rDNA gene. Of the isolates obtained, 18 came from the rhizosphere of faveleira and 22 from umburana of cambão. Regarding growth speed, 52% showed rapid growth (24 h after inoculation) and 48% late growth (72 h). Regarding the shape of the cells, 38 are bacilli and 2 coccobacilli. It was possible to detect that 77.5% of the isolates are Gram negative and 22.5% are Gram positive. The antagonistic action in double culture against the phytopathogenic fungi *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. and *Fusarium* sp, was effective for 23 isolates. The percentage of inhibition of the radial growth of the fungus was calculated and it was observed that isolate TU38 inhibited 76.6% of the growth of *L. theobromae* and 82.3% of the growth of *Fusarium* sp., isolate TF29 inhibited 90.3% of the growth of *Macrophomina* sp. A total of 9 isolates (22.5%) of the isolates were able to solubilize phosphate. The phosphate solubilization index ranged from 1.15 to 2.81, presenting medium solubilization indexes ($2 < IS < 4$). All isolates were capable of fixing nitrogen, tested in JMV and LGI (N-free) culture media. AIA production was observed in all isolates, among them, TU23, RF11, RU5, TF39, TU38 and TF30 showed better results with an average production of 3.50 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Seven isolates were identified from which we obtained *Priestia megaterium* and *Pseudomonas aeruginosa* known for their antimicrobial activity and for promoting plant growth. Others such as *Bacillus wiedmannii* and *Lysinibacillus sphaericus* in the control

of other phytopathogens. It is concluded that the PGPR isolated from these native plants of the caatinga have biotechnological potential for the production of bioinput. With emphasis on 23 isolates, including RU22 (*Pseudomonas aeruginosa*) and TU23 for being positive in all tests and isolates RF11 (*Lysinibacillus sphaericus*), RU26, TF32, TU38 and TF40 being promising for presenting better overall results for antagonistic and promoter activities plant growth.

Keywords: Biotechnological potential, Sustainability, Antagonistic activity, AIA production, Bioinput.

Lista de figuras

- Figura 1:** Cultivo dos isolados das Rizobactérias Promotoras de Crescimento de plantas isoladas de Faveleira e Umburana de Cambão, cultivados em meio LGI, após 24 a 72 horas de cultivo..... 45
- Figura 2:** Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *L. theobromae* frente aos isolados TU20, RU22, TF30, TF32, RU37, TU38 e TF40, em meio ágar nutriente após 18 dias de inoculação a 28 °C. 46
- Figura 3:** Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *Macrophomina* sp. frente aos isolados RU9, RF11, RF13, RF14, TF40, RU22, RU25, RU26, TF29 e TU38, em meio ágar nutriente após 12 dias de inoculação a 28 °C. 46
- Figura 4:** Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *Fusarium* sp. frente aos isolados TU8, RF17, TU23, TF29, TF32 e TU38, em meio ágar nutriente após 14 dias de inoculação a 28 °C. 46
- Figura 5:** Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *L. theobromae* após 18 dias. O agrupamento das médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).
..... 47
- Figura 6:** Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *Macrophomina* sp. após 12 dias, as médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). 47
- Figura 7:** Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *Fusarium* sp. após 14 dias, as médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). 48
- Figura 8:** Formação do halo transparente indicativo da capacidade de solubilização dos isolados de RPCP isolados da rizosfera de faveleira no 14º dia após inoculação. 50
- Figura 9:** Índice de solubilização (diâmetro do halo solubilizado/diâmetro da colônia) de isolados de faveleira e umburana de cambão. As letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 50

Figura 10: Produção de AIA sem a presença de triptofano dos isolados de RPCP obtidos de Umburana de cambão e Faveleira. Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). 51

Figura 11: Produção de AIA, com a presença de triptofano, dos isolados de RPCP obtidas de umburana de cambão e faveleira. Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$)..... 52

Lista de tabelas

Tabela 1: Caracterização dos isolados quanto a: forma da célula, coloração de Gram, velocidade de crescimento e características das colônias como, cor (incolor, pigmentada), bordas (Ondulada, liso, lobado, filamentosos lacerados), brilho (transparente, translúcida, opaca), superfície (plana, convexo, elevado, ondulada, concava, achatada), aspecto (viscosa, úmida, membranosa, gelatinosa, leitosa)..... 43

Tabela 2: Potencial inibitório das rizobactérias frente aos fitopatógenos *L. theobromae* e *Fusarium* sp. e *Macrophomina* sp., as letras resultam do agrupamento de médias de Scott-Knott a 5%;..... 48

Tabela 3: Identificação das cepas obtidas do solo rizosférico de *Cnidocolus quercifolius* Pohl e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett de por meio do sequenciamento 16S rDNA..... 52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.2 RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS (RPCP).....	19
3. REFERÊNCIAS	25
4. BIOPROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RPCP ISOLADOS DE <i>Cnidocolus quercifolius</i> POHL (FAVELEIRA) E <i>Commiphora leptophloeos</i> (MART.) J.B. GILLETT (UMBURANA DE CAMBÃO)	34
4.1 INTRODUÇÃO	35
5. MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1 COLETA DO SOLO RIZOSFÉRICO	37
5.2 ISOLAMENTO BACTERIANO	38
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ISOLADOS BACTERIANOS	38
5.3.1 Fixação Biológica de Nitrogênio	38
5.3.2 Teste para atividade antagonista em cultura dupla	39
5.3.3 Avaliação da habilidade para solubilização de fosfato	40
5.3.4 Produção de AIA pelas RPCP com ausência e presença de suplementação de L-Triptofano.....	40
5.3.5 Análise do gene 16S rDNA de cepas bacterianas selecionadas.	41
5.3.6 Análises estatísticas	41
6. RESULTADOS.....	42
6.1 TESTES <i>in vitro</i> DOS POTENCIAS DE ANTAGONISMO E PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS	45
6.1.1 Fixação Biológica de nitrogênio atmosférico.....	45
6.1.2 Teste em Cultura dupla entre os isolados das RPCP e os fungos fitopatogênicos <i>L. theobromae</i> , <i>Macrophomina</i> sp. e <i>Fusarium</i> sp....	45
6.1.3 Solubilização de fosfato inorgânico.....	49
6.1.4 Produção de AIA	51
6.1.5 Análise do gene 16S rDNA dos isolados bacterianos selecionados	52
7. DISCUSSÃO	53
8. CONCLUSÃO.....	57
9. REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão nos centros das discussões emergentes em todo o mundo. Os resultados desse impacto refletem diretamente na vida social, econômica e em nossos ecossistemas. Mudanças são esperadas principalmente na agricultura mundial pelas alterações na temperatura e precipitação, impactando as formas de produção, rendimento e aproveitamento dos recursos naturais (TANURE *et al.*, 2023).

Para o bioma Caatinga espera-se um aumento da aridez, visto ser afetada pelo atual clima de variabilidade interanual de precipitação, ocorrerá uma expansão de zonas desérticas e semidesérticas, segundo projeções para o próximo século (TORRES *et al.*, 2017). Estudos mostram que a região da Caatinga será profundamente afetada com consequências negativas ao bioma, tendo como principal agente de mudança do clima os gases de efeito estufa (MARENGO & BERNASCONI, 2014).

A alta produtividade em curtos períodos de tempo, é resultado de excessivas aplicações de agrotóxicos em nossos agroecossistemas (MÖHRING *et al.*, 2020). Os custos desta forma de manejo são elevados, a exemplo do uso de fertilizantes inorgânicos como na adubação nitrogenada, por exemplo, pode resultar em problemas como a lixiviação, poluição dos recursos hídricos, emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa e intensificando as mudanças climáticas (ZAHID *et al.*, 2015).

A sustentabilidade também é um tema alvo nas discussões sobre agricultura a várias décadas. Contudo estamos diante de desafios, como a expansão de cultivos voltados a se tornarem *Commodities*, monoculturas e perda dos recursos naturais (PICHURA *et al.*, 2023).

Novos conceitos são utilizados, como a “agricultura amiga da biodiversidade” na União Européia, mas ainda é urgente a reforma no sistema alimentar global (FISHER, 2023). Sabe-se que os ecossistemas dependem da “saúde do solo”, este termo abrange aspectos que vão para além da produção agrícola ou em outros benefícios explicitamente humanos - tendo vínculos com o conceito emergente de “One Health”, no qual a saúde dos seres humanos, dos animais e do meio ambiente estão todos conectados (LEHMANN *et al.*, 2020).

Estudos mostram que a sustentabilidade agrícola está associada à eficiência econômica, a equidade social e a segurança ecológica (SINGH *et al.*, 2022; SONG *et al.*, 2022).

São emergentes em todo o mundo a necessidade de colocar como prioridade os desafios sociais, econômicos, ambientais, sanitários e ecológicos na produção agrícola (DEGUINE *et al.*, 2021). A busca por estratégias indica que serão necessárias medidas de equilíbrio do rendimento da produção agrícola, com o potencial biológico, reduzindo as consequências da agricultura intensiva e visando a sustentabilidade (CHEN *et al.*, 2011).

A utilização de recursos biológicos pode ser uma das alternativas inteligentes para a reduzir a dependência em relação a insumos importados, como também favorecer a oferta interna de matéria prima (KUMARI, 2023). A biodiversidade que o Brasil possui favorece esta alternativa visando o desenvolvimento e o uso sustentável da diversidade biológica (MAPA, 2023).

Os microrganismos benéficos do solo desempenham um papel importante na fitoestimulação, biorremediação e biofertilização. São capazes de promover o crescimento de plantas, acelerando a acessibilidade e a busca de outros elementos necessários (RAFI, 2018). Estes microrganismos estão muitas vezes aderidos às suas partículas ou em interação com as raízes das plantas em uma região conhecida como rizosfera (CELESTINO, 2019).

O microbioma que hospeda a rizosfera vem sendo considerado como segundo genoma da planta, por conferirem saúde, promoção do crescimento e resistência a pragas e doenças (FENG *et al.*, 2021). Este grupo de microrganismos são conhecidos como Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas ou RPCP (GLICK, 2021).

Sabe-se que os benefícios das RPCP são diversos, porém se restringem por alguns fatores, como, colonização insatisfatória devido a competição com micróbios residentes, estresses abióticos, entre outros. Por outro lado, a produção de bioinsumos produzidos por meio de microrganismos nativos, resilientes e adaptados oferecem as condições propícias para a expressão e/ou atividades características da RPCP em benefício das plantas-alvo (HASKETT *et al.*, 2021).

A Caatinga possui plantas extremamente adaptadas as suas condições semiáridas, a exemplo da *Cnidocolus quercifolius* Pohl da família Euphorbiaceae, popularmente conhecida como faveleira e da *Commiphora*

leptophloeos (Mart.) J.B. Gillett da família Burseraceae, popularmente conhecida como umburana de cambão. Realizar a bioprospecção de microrganismos da rizosfera de plantas nativas da Caatinga, nos direciona a obter conhecimento sobre o estabelecimento, distribuição de novas bactérias e seus potenciais (PANCHAMI *et al.*, 2020).

Contudo levanta-se a hipótese de que existem RPCP que possam ser isoladas de plantas do bioma Caatinga e que possuam um potencial de produzirem substâncias que auxiliem no crescimento vegetal e atuem no controle de doenças causadas por fungos fitopatogênicos, com possibilidades para serem promissores bioinsumos a serem aplicados na agricultura.

Este trabalho teve como objetivo geral a bioprospecção de Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCP) cultiváveis *in vitro*, associadas a raízes de plantas nativas do bioma Caatinga, bem como analisar seus potenciais por meio de testes de fixação biológica de nitrogênio, ação antagonista a fitopatógenos, solubilização de fosfatos e produção de compostos indólicos (AIA), para posterior identificação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESAFIOS PARA A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

O Brasil se destaca por ser um dos maiores produtores agropecuários do mundo e ocupa a quarta posição entre os países que mais exportam produtos agrícolas, (FAOSTAT, 2021). É um dos três maiores produtores e exportadores de açúcar, café, suco de laranja, soja, carne bovina, fumo, etanol e frango de corte do mundo (PIGNATTI *et al.*, 2017).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2022), a produtividade agrícola no Brasil aumentou, principalmente na produção de *commodities*. Este aumento está atrelado a expansão de terras, exploração dos recursos naturais e utilização de agrotóxicos e de fertilizantes minerais.

O Brasil também abriga as maiores reservas de biodiversidade do planeta, que vem sendo ameaçada por esta expansão agrícola convencional (PEREIRA *et al.*, 2012; ALVEZ *et al.*, 2020). Por um lado, existe a preocupação com as mudanças climáticas afetando a agricultura e a vida humana, e por outro, a segurança econômica do país que visa o aumento da produção agrícola (GAYATHRI & DONALD, 2017). De acordo com projeções da Organização das

Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), as terras cultivadas nos países em desenvolvimento podem aumentar em cerca de 110 milhões de hectares até 2050 (FAOSTAT, 2021).

Estamos diante do risco de perda dos ecossistemas naturais, e diminuição substancial das reservas de fosfato de rocha. Este desafio pode ser enfrentado sem a expansão de terras e com a utilização de insumos naturais e/ou integração e diminuição de agrotóxicos prejudiciais ao meio ambiente (HASKETT *et al.*, 2021).

Muitas das culturas comercializadas no país estão sujeitas a perdas causadas por insetos, fungos, plantas espontâneas, entre outros. Para soja, milho e feijão, culturas que recebem adubação mineral e agrotóxicos (MAPA, 2022; SINDIVEG, 2023), as perdas na produtividade giram em média de 26 a 29 % globalmente (HEINRINCHS & MUNIAPPAN, 2019). Para minimizar as consequências dessa exposição, fungicidas, inseticidas, herbicidas e outros agrotóxicos são aplicados às culturas para garantir maior produtividade, com grau de qualidade satisfatório pelo mercado consumidor (PENIDO *et al.*, 2019).

Os riscos das aplicações excessivas vêm sendo relatados por diversos pesquisadores (NING *et al.*, 2017; PRABAKARAN *et al.*, 2018; SRIVASTAVA *et al.*, 2020). Esta prática leva a desestruturação da cadeia alimentar e das comunidades dominadas por algumas espécies de insetos. Ambos fatores contribuem para o surto de pragas e doenças (CROWDER *et al.*, 2010). Como também intensifica as mudanças climáticas, podendo prolongar os períodos de hibernação das espécies; O que seria amenizado sazonalmente, não está acontecendo (MA *et al.*, 2021). Podendo causar desequilíbrio, com diminuição na diversidade de plantas, resultando em solos distróficos, deficientes quanto aos níveis de matéria orgânica, com baixa capacidade de retenção de água e solubilização reduzida de nutrientes (MEYER, 2022).

Segundo a ANVISA, pelo Programa de Análise de Resíduos dos Agrotóxicos em Alimentos (PARA), indicaram que dos 25 alimentos já analisados, 14 registram médias acima de 50% de ingredientes ativos não autorizados, entre os que foram detectados (LOPES *et al.*, 2021).

O modelo agrícola adotado no Brasil está fortemente vinculado ao uso de agrotóxicos, uma dependência que culminou para o país se tornar um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo (RIBEIRO *et al.*, 2021). Estima-se que são investidos nestes produtos, em média, no Brasil e em países

emergentes e dependentes, uma variação de 20 a 80 bilhões de dólares por ano (CARNEIRO, 2022). Apesar do aumento na produtividade a curto prazo resultante do uso intensivo desses insumos, essas práticas requerem alto custo energético. Além de gerar acúmulo pela degradação lenta desses compostos, ocasionam contaminações, deteriorações e alterações nos sítios da rizosfera das plantas e no solo (NETTLES *et al.*, 2016).

A busca por métodos alternativos para melhoria do manejo, vem sendo alvo de pesquisas (GOPALAKRISHNAN *et al.*, 2015). Em todo o mundo, o aumento sustentável da produção nas terras agrícolas atuais tem sido proposto como solução para o conflito entre a expansão da produção agrícola e a conservação dos ecossistemas naturais (PHALAN *et al.*, 2012; STRASSBURG *et al.*, 2014). A procura por inovações ambientalmente corretas se alinha com a agricultura regenerativa sustentável (MEYER, 2022).

Pesquisas acerca da utilização de microrganismos, macro-organismos, metabólitos, extratos vegetais, algas marinhas e formulações, que proporcionam benefícios às culturas agrícolas e favoreçam para o equilíbrio e saúde do solo (BASU *et al.*, 2021) tem sido cada vez mais utilizadas. A exploração de serviços ecossistêmicos dos microrganismos tem se apresentando como alternativa promissora para o manejo integrado no combate aos ataques de pragas ou doenças (TABASSUM *et al.*, 2017). A agricultura brasileira e do mundo têm obtidos avanços significativos nos processos de intensificação na aplicação de manejos cada vez mais sustentáveis (BOLFE *et al.*, 2018). Serão necessárias medidas de equilíbrio do rendimento da produção agrícola com o potencial biológico, para a redução das consequências da agricultura intensiva (CHEN *et al.*, 2011).

A utilização dos recursos naturais como solo e água, deverão ser cada vez mais eficientes, integrando os ciclos biogeoquímicos e formas de controles biológicos contra os ataques de pragas e doenças (BOLFE *et al.*, 2018). O novo direcionamento da produção agrícola, visa desenvolver práticas de menor impacto, onde, por meio de métodos alternativos, possam ser ferramentas para substituição ou redução da utilização de agrotóxicos, por meio do manejo integrado favorecendo o uso sustentável da biodiversidade (LACEY *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2010). Potencial este, ainda pouco explorado, já que o Brasil possui uma imensa diversidade de plantas e microrganismos com potencial biotecnológico e adaptados aos nossos mais diversos biomas.

2.2 RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS (RPCP)

A utilização de microrganismos benéficos capazes de promover o crescimento de plantas, melhorar a qualidade do solo, bem como, atuar no controle biológico de pragas e doenças pode ser uma das alternativas para o manejo integrado (ATTIA *et al.*, 2020). Estes microrganismos estão muitas vezes aderidos às suas partículas ou em interação com as raízes das plantas em uma região conhecida como rizosfera (CELESTINO, 2019).

A interação solo-planta-microrganismos na região rizosférica é responsável por vários processos que influenciam o crescimento e desenvolvimento da planta, na decomposição, mobilização e liberação de nutrientes inorgânicos para as plantas (MARSCHNER *et al.*, 2011; MEENA, 2017). Essas interações se dão por meio de trocas de sinais químicos e mecânicos para reconhecimento entre os diferentes organismos, e assim, manter relações de simbiose, comensalismo ou protocooperação na rizosfera (KLEINGESINDS, 2016) que podem beneficiar as plantas hospedeiras. Essas interações complexas podem influenciar na saúde das plantas, na sua produtividade, conseqüentemente na saúde do solo (ZAHID *et al.*, 2015).

Microrganismos rizosféricos possuem alto potencial biotecnológico para aplicação em diversos segmentos, incluindo terapêuticos, industriais, saúde humana e animal, meio ambiente e na agricultura (MOKRANI; NABTI, 2020). A utilização destes microrganismos é realizada por promover o crescimento vegetal e auxiliarem no aumento da resistência das plantas à estresses bióticos e abióticos (ETSAMI, 2018).

Dentre estes microrganismos rizosféricos, destacamos as Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas conhecidas como RPCP ou do inglês, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* – PGPR. Estas são capazes de produzir auxinas, enzimas hidrolíticas, substâncias antimicrobianas ao produzir metabólitos secundários, e ainda, são capazes de disponibilizar fosfato e nitrogênio para as plantas (LINS, 2014; VOCCIANTE *et al.*, 2022). Estas também possuem importância na ciclagem de nutrientes, pois também são responsáveis pela degradação de diferentes compostos orgânicos (VASCONCELLOS *et al.*, 2010).

Outros benefícios relevantes ao degradar compostos, são os nutrientes e substâncias promotoras de crescimento para as plantas que melhoram o desenvolvimento do sistema radicular e maior absorção de elementos (LI *et al.*, 2020). Contribuem também, para o aumento nos índices de ácido indol acético (AIA), ácido giberélico, clorofilas (a, b), carotenóides e redução no nível de ácido abscísico (ARKHIPOVA *et al.*, 2020). A principal auxina de ocorrência natural (AIA), importante para o crescimento vegetal, é produzida por algumas rizobactérias que sintetizam hormônios de crescimento, idênticos aos encontrados nas plantas (PEDRINHO *et al.*, 2010). Mecanismo interessante é a produção da enzima ACC-desaminase, que reduz o nível de etileno em resposta aos estresses por seca ou salino, por exemplo, por meio da hidrólise do ACC gerado (precursor da síntese de etileno) (KHALILPOUR *et al.*, 2021).

As RPCP podem produzir sideróforos bacterianos, que facilitam a absorção de ferro pelos microrganismos (KARUPPIAH *et al.*, 2022). Os sideróforos são compostos que permitem que os microrganismos sequestram e solubilizem ferro férrico (Fe^{3+}) em ambientes pobres em ferro, podendo prevenir o crescimento de patógenos do solo devido a essa competição mediada por sideróforos (CHAIHARN; CHUNHALEUCHANON; LUMYONG, 2009). O fornecimento desse nutriente às plantas por bactérias é interessante, principalmente em solos expostos a estresse ambiental, como em solos contaminados por metais pesados, os sideróforos amenizam este impacto imposto ao sistema (GLICK, 2014).

O mecanismo de ação das RPCP envolve a promoção direta e indireta. A direta se refere a maior aquisição de nutrientes do ambiente como fósforo, nitrogênio, ferro e potássio acelerando a acessibilidade e a busca de outros elementos necessários para as plantas (RAFI, 2019). Como também, pela modulação dos níveis de hormônios da planta como auxina, citocininas e giberelinas (PÉREZ-FLORES *et al.*, 2017; GLICK, 2021). Dos mecanismos indiretos se refere a síntese de antibióticos, proteases, quitinases, bacteriocinas, sideróforos, lipopeptídeos e compostos orgânicos voláteis (GLICK, 2014) que estão relacionados com a diminuição dos danos às plantas após infecção por fitopatógenos (HERNÁNDEZ-LEÓN *et al.*, 2015; OROZCO-MOSQUEDA *et al.*, 2018).

Diferentes espécies de plantas ou cultivares podem produzir exsudados liberados na rizosfera, que servirão de substrato para o desenvolvimento dos microrganismos, como também servem para a formação de substâncias biologicamente ativas que serão benéficas para a comunidade microbiana (RAMADAN *et al.*, 2016).

Além disso, outra característica de algumas RPCP é a indução de resistência sistêmica. Essas bactérias possuem potenciais para uma colonização rápida e agressiva, caracterizada como um mecanismo de controle de doenças, que evita a entrada de microrganismos patogênicos (RAMADAN *et al.*, 2016). A sua utilização abre oportunidades para que bioinsumos sejam desenvolvidos podendo trazer resultados positivos no desenvolvimento e no mecanismo de resposta às substâncias excretadas, beneficiando e garantindo um cultivo mais sustentável (PEREIRA *et al.*, 2019).

2.3 POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS MICRORGANISMOS DO SOLO

O potencial para a biotecnologia microbiana, vem sendo objeto de pesquisa em todo o mundo. Argentina, Brasil e Colômbia são os pioneiros nessa iniciativa para a agricultura (GOULET, 2021). Embora se necessite de mais avanços sobre as interações entre microrganismos benéficos, plantas e/ou tipo de solo, sabe-se que esta interação é sustentável e melhor para a saúde do solo (ZOYA *et al.*, 2021).

A agricultura orgânica é uma das principais linhas de produção de alimentos que são fontes para o aumento de microrganismos, como carga fúngica e bacteriana no solo sendo conhecidos como probióticos vegetais (YADAV *et al.*, 2017). O maior desafio tem sido encontrar estratégias emergentes de biocontrole para a agricultura convencional e biotecnologias que atendam a necessidade de uma produção agrícola mais sustentável (HUSSAIN *et al.*, 2020).

Diferentes biofertilizantes a base de microrganismos foram desenvolvidos e uma gama de fungos e bactérias com potencial de promoção do crescimento de plantas são utilizados como inoculantes em sementes (ALORI *et al.*, 2017). As bactérias dos gêneros *Rhizobium* sp., *Agrobacterium* spp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Azobacter* sp., *Priestia* sp. são alguns exemplos positivos de relatos na literatura como promotoras de crescimento e supressoras

de fitopatógenos (BHATTACHARYYA *et al.*, 2012; PASSERA *et al.*, 2017; KHALILPOUR *et al.*, 2021; UZMA *et al.*, 2022).

Um estudo constatou a presença da espécie *Bacillus subtilis* BEB-13bs como promotor do crescimento de plantas em tomate, com resultados significativos em maior peso de raiz e aumento da produtividade nas plantas inoculadas (MENA *et al.*, 2007). Outros estudos sobre microrganismos tolerantes a seca se mostraram eficazes na germinação e crescimento de *Setaria italica* (painço, milheto), isolados da região semiárida do nordeste da China (NIU X *et al.*, 2018). A ação positiva também foi constada nas culturas como o tomate, pepino, feijão, trigo, milho, videira, pistache e várias outras culturas de interesse agrônômico (NASSAR *et al.*, 2003; ROSE *et al.*, 2003; ABALLAY *et al.*, 2011; BINGBING *et al.*, 2021; KARIMI; NOORI, 2022). Em alguns estudos foram comprovados que o potencial dos compostos orgânicos voláteis que bactérias dos gêneros *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. e *Pseudomonas fluorescens* produzem, serviram para o biocontrole de doenças da antracnose na pós-colheita em manga e pimenta, e desempenho produtivo em repolho (BOUKAEW *et al.*, 2018; VIJ *et al.*, 2022).

Ações em torno dos insumos agrícolas que se definem bioinsumos, incluem tanto agentes de biocontrole, quanto biofertilizantes (GOULET, 2021). Utilizar os microrganismos como fonte para os biofertilizantes é uma tecnologia com baixo custo em comparação com insumos químicos, e mais sustentável (FASUSI *et al.*, 2021).

Segundo a ANVISA (2023), houve crescimento significativo na quantidade de análises para aprovação de produtos de origem biológica para utilização na agricultura em 2022. O mercado nacional em 2019, movimentou R\$ 675 milhões, 15% maior que em 2018 conforme apontou o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os bioinsumos surgem como emergentes na crise ambiental, da saúde humana, do meio ambiente e econômica, sendo uma nova alternativa para a agricultura brasileira e do mundo. De acordo com o MAPA (2023), por meio da criação do Programa Nacional de Bioinsumos, procura-se adotar os ativos sustentáveis desenvolvidos a partir dos recursos renováveis, por meio da ação integrada dos setores de ciência, tecnologia e inovação, além do setor produtivo e o mercado. Atualmente em torno de 1.100 bioprodutos já foram registrados entre controle de pragas e inoculantes a base de microrganismos no Brasil (MAPA, 2023).

Nesse sentido, os bioinsumos, se bem utilizados, podem otimizar as áreas agrícolas e trazer produtividade aos agroecossistemas. Aliado ao seu uso, os sistemas produtivos devem se tornar mais eficientes na utilização de recursos locais (SOUZA *et al.*, 2022). A utilização da matéria prima local e regional, é o ponto de partida estratégico para a produção destes produtos, que podem gerar tecnologias apropriadas, empregos, renda e organização de novas cadeias produtivas em todo o país (MAPA, 2023).

Ainda há um campo aberto para o desenvolvimento de pesquisas que visem a produção cada mais sustentável, visto o Brasil ser um país que abriga a maior parte de terras com potencial agrícola, com centros de biodiversidade em seus diferentes biomas. A Caatinga, por exemplo, é o menos estudado e o potencial dos microrganismos ainda é pouco conhecido (KAVAMURA *et al.*, 2013).

2.4 RIZOBACTÉRIAS ADAPTADAS AO BIOMA CAATINGA

A Caatinga é um bioma exclusivo do Brasil que apresenta médias de temperatura variando entre 20 e 28 °C e recebe alta intensidade de radiação solar (CUNHA, 2013). Além disso, apresenta ventos fortes e secos, elevada taxa de evapotranspiração e baixo índice de pluviosidade com distribuição espacial e temporal heterogênea, conseqüentemente apresenta deficiência hídrica no solo na maioria dos meses do ano (MAIA, 2004). Com relação as mudanças climáticas, segundo projeções do clima, a Caatinga irá sofrer com o aumento da temperatura e áreas novas de desertificação. Sabe-se, portanto, da importância da cobertura e saúde do solo afim de minimizar estes efeitos (TORRES *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Este bioma pode abrigar microrganismos que estão condicionados a estresse hídrico por evoluírem em condições climáticas com predominância de clima seco e quente (ALVES *et al.*, 2018).

Por apresentar características tão peculiares, a Caatinga possui plantas extremamente adaptadas as suas condições semiáridas, a exemplo da *Cnidoscolus quercifolius* Pohl da família Euphorbiaceae, popularmente conhecida como faveleira. Por ser tolerante a seca, a faveleira ocorre em toda região semiárida. Rústica e de rápido crescimento, é dotada de reservas nutritivas acumuladas nas raízes (xilopódios). É uma planta oleaginosa, xerófila, decídua, encontrada com e sem acúleos. Com potencial nutritivo na maioria das

suas partes, é muito utilizada na alimentação dos animais silvestres, de criação e até pelo ser humano (FILHO *et al.*, 2007). Outra planta nativa e de importância na região é a *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett da família botânica Burseraceae, popularmente conhecida como umburana de cambão. Árvore de porte alto, copa irregular e ramos tortuosos, contendo espinhos, caules com até 60 cm de diâmetro e se desprende em lâminas delgadas, deixando o caule exposto de cor verde variando a laranja-avermelhada quando idosa, e plúmbea nos períodos de secas prolongadas (PAREYN *et al.*, 2018).

Uma pesquisa realizada no semiárido brasileiro selecionou bactérias de plantas nativas da Caatinga conhecidas como mandacaru (*Cereus jamacaru*), xique-xique (*Pilocereus gounellei*) e coroa de frade (*Melocactus sp.*), membros da família Cactaceae, onde foram capazes de promover crescimento em milho (*Zea mays* L.) em 66,3% e 56,7% respectivamente, quando comparado ao controle, a partir da inoculação de *Bacillus spp.* e *Pantoea sp.* ambos isolados da rizosfera de *Cereus jamacaru* (KAVAMURA *et al.*, 2013).

Realizar a bioprospecção de microrganismos da rizosfera de plantas nativas, direciona a obter conhecimento sobre o estabelecimento, distribuição de novas bactérias e seus potenciais (PANCHAMI *et al.*, 2020). Como também, os microrganismos nativos têm vantagem para fácil aclimação e fortalecimento das interações antagônicas e sinérgicas com as plantas e o solo, adaptados às condições locais (GOUDA *et al.*, 2018).

Por apresentarem tais características de adaptação, as comunidades microbianas que habitam a rizosfera destas plantas podem ter papel importante no auxílio à adaptação das mesmas. Estas RPCP podem demonstrar características que auxiliem no cultivo de plantas de interesse agrônomo, bem como em programas de produção de mudas para reflorestamento de áreas degradadas (LINS, 2014; OLENSKA *et al.*, 2020).

Por outro lado, sabe-se que pode ocorrer colonização insatisfatória devido a competição com micróbios residentes, estresses abióticos, ou favorecer plantas espontâneas criando competição com plantas-alvo. Contudo, o bioinsumo produzido por meio de microrganismos nativos, resilientes e adaptados oferecem as condições propícias para a expressão e/ou atividades características da RPCP em benefício das plantas-alvo (HASKETT *et al.*, 2021).

Verifica-se que é essencial o estudo sobre o comportamento de microrganismos adaptados às condições que o bioma oferece, para entender

sua dinâmica em ciclos biogeoquímicos, na promoção do crescimento de plantas, ou no controle de doenças que possam contribuir para melhorar as práticas agrícolas na região.

Esse grupo de microrganismos do bioma Caatinga apresenta grande potencial a ser utilizado na agricultura, e ainda podem melhorar a qualidade dos alimentos e contribuir para um desenvolvimento mais sustentável. Com base no exposto, levanta-se a hipótese de que existem RPCP que possam ser isoladas de plantas nativas do bioma Caatinga e que possuam um potencial de produzirem substâncias que auxiliem no crescimento das plantas e atuem no controle de doenças causadas por fungos fitopatogênicos, com possibilidades para serem promissores bioinsumos para aplicação na agricultura.

3. REFERÊNCIAS

ALVES, A. R.; MEDEIROS, A. N.; ANDRADE, A. P.; FRIGHETTO, R. T. S.; SILVA, M. J. S.; *A caatinga e a oportunidade de mitigação das emissões de gases de efeito estufa pela atividade pastoril*. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, EMBRAPA, v.11, n.2, p.639-661, 2018.

ALVEZ, G. H. Z.; TÓFOLI, R. M.; RODRIGUES-FILHO, J. L.; SACRAMENTO, P. A.; CIONEK, V. M.; FIGUEIREDO, B. R. S.; COUTO, E. V.; *Brazil's vegetation ravage may be encouraged by law*. Biodiversity and Conservation v.29, p.1105–1107, 2020.

BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K.; *Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture*. World J Microbiol Biotechnol, v.28, 1327–1350 2012.

BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S.N.; KALAM, S.; SAYYED, R.Z.; REDDY, M.S.; EL ENSHASY, H.; *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects*. Sustainability, 13, 1140, 2021.

BINGBING, D.; LIN, L.; GUOQIAO, C.; CHENXING, S.; YASHAN, L.; HASMIK, M.; WEI, L.; XU, L.; *Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase-Producing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Drought Stress Tolerance in Grapevine (Vitis vinifera L.)*. Frontiers in Plant Science, v.12, 2021.

BOLFE, E. L. *et al.*; *Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira*. EMBRAPA Brasília, v.1, p.77, 2018.

BOUKAEW, S. W.; PETLAMUL, R.; BUNKRONGCHEAP, T.; CHOOKAEW, T.; KABBUA, A.; THIPPATED, P. P.; *Fumigant activity of volatile compounds of Streptomyces philanthi RM-1-138 and pure chemicals (acetophenone and phenylethyl alcohol) against anthracnose pathogen in postharvest chili fruit*. Cop Protection, v.103, p.1-8, 2018.

CARNEIRO, C. R.; *A dinâmica das corporações multinacionais agroquímicas e suas repercussões no Brasil (1990-2020)*. Inst. Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política (ILAESP), tese, p.109, 2022.

CELESTINO, E.L.F.G.; *Bactérias promotoras de crescimento isolada da Caatinga alagoana*. Universidade Federal de Alagoas, tese, p. 93, 2019.

CHAIHARN, M.; CHUNHALEUCHANON, S.; LUMYONG, S.; *Screening siderophore producing bacteria as potential biological control agent for fungal rice pathogens in Thailand*. World journal Microbiol. Biotechnol, v.25, p.1919–1928, 2009.

CHEN, X. P.; CUI, Z. L.; VITOUSEK, P. M.; ZHANG, F. S.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; BAI, J. S.; MENG, Q. F.; HOU, P.; YUE, F. C.; RÖMHELD, V.; ZHANG, F. S.; *Integrated soil – crop system management for food security*. PNAS, v.108, n.16, 2011.

CONAB. Companhia de Abastecimento Nacional, 2023. Produção agrícola. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>>Acesso em: 05 maio 2023.

CUNHA, A. P. M. A.; *Avaliação dos impactos das mudanças dos usos e cobertura da terra no clima da região semiárida do Brasil*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 181, 2013.

CROWDER, D.; NORTHFIELD, T.; STRAND, M.; SNYDER, W. E.; *Organic agriculture promotes evenness and natural pest control*. Nature, v.466, p.109–112, 2010.

DEGUINE, J. P.; AUBERTOT, J. N.; FLOR, R. J.; *Integrated pest management: good intentions, hard realities*. A review. Agron. Sustain. Dev.; v.41, p.38, 2021.

ETESAMI, H.; *Can interaction between silicon and plant growth promoting thiobastecia benefit i alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants?* Agriculture, Ecosystems & Environment, v.253, p.98-112, 2018.

EL-ASHRY, R. M.; *Application of Animal Manure and Plant Growth- Promoting Rhizobacteria as Effective Tools to Control Soil Nematode Population and Increase Crop Yield in Grapevine Orchards*. Egyptian Journal of Agronematology, v.20, n.1, p.34-52, 2021.

FAOSTAT. *Terras cultivadas disponíveis nos países em desenvolvimento, 2021*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 08/01/2023.

FAOSTAT. *Produtividade agropecuária do mundo, 2021*. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 08/09/2023.

FASUSI, O. A.; CRUZ, C.; BABALOLA, O. O.; *Agricultural Sustainability: Microbial Biofertilizers in Rhizosphere Management*. Agriculture, v.11, p.163, 2021.

FILHO, N. M. R. *et al.*; *Avaliação comparada dos índices químicos nitrogênio e fósforo nas porções morfológicas dos espécimes de faveleira com espinhos e sem espinhos*. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.9, p.149-160, 2007.

FISHER, J.; BENNET, E.; PE'ER, G.; *Agriculture: reform the global food system*. Nature, v.622, 2023.

FLÄRDH, K.; BUTTNER, M.; *Streptomyces morphogenetics: dissecting differentiation in a filamentous bacterium*. Nat. Rev. Microbiol., v.7, p.36–49, 2009.

GAYATHRI, I.; DONALD, S. L.; *Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Amelioration of Salinity Stress: A Systems Biology Perspective*. Frontiers in Plant Science, v.8, 2017.

GLICKMANN E.; DESSAUX, Y.; *A critical examination of the specificity of the slakowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria*. Applied and Environmental Microbiology, p.793-796, 1994.

GLICK, B. R.; *Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and applications*. Scientifica, v.12, 2021.

GLICK, B. R.; *Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world*. Microbiological Research. v.169, p.30-39, 2014.

GOUDA S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H-S.; PATRA, J. K.; *Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture*. Microbiol. Res, v.206, p.131–140, 2018.

GOULET, F.; *Biological inputs and agricultural policies in South America: between disruptive innovation and continuity*. Perspective 55, CIRAD, 2021.

GOPALAKRISHNAN, S.; SATHYA, A.; VIJAYABHARATHI, R. *et al.*; *Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities*. 3 Biotech, v.5, n.4, p.355-377, 2015.

HARVEY P. R.; WARREN R. A.; WAKELIN S.; *Potential to improve root access to phosphorus: the role of non-symbiotic microbial inoculants in the rhizosphere*. Crop and Pasture Science, v.60, 144-151, 2009.

HEINRICHS, E. A.; MUNIAPPAN, R.; *Integrated pest management for tropical crops: soyabeans*. CABI digital library, 2019.

HASKETT, T.L., TKACZ, A. & POOLE, P.S. *Engineering rhizobacteria for sustainable agriculture*. Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology, v.15, p.949–964, 2021.

HERNÁNDEZ-LEÓN, R.; ROJAS-SOLÍS, D.; CONTRERAS-PÉREZ, M.; OROZCO-MOSQUEDA, M. C.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; REYES-DELACRUZ, H.; VALENCIA-CANTERO, E.; SANTOYO, G.; *Characterization of the antifungal and plant growth-promoting effects of diffusible and volatile organic compounds*

produced by *Pseudomonas fluorescens* strains. *Biol. Control*, v.81, p.83-92, 2015.

HUSSAIN, T., AKTHAR, N., AMINEDI, R., DANISH, M., NISHAT, Y., PATEL, S.; *Role of the Potent Microbial Based Bioagents and Their Emerging Strategies for the Ecofriendly Management of Agricultural Phytopathogens*. *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture*. Springer, Singapore, 2020.

KHALILPOUR, O.; MOZAFARI, V.; ABBASZADEH-DAHAJI, P.; *Tolerance to salinity and drought stresses in pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings inoculated with indigenous stress-tolerant PGPR isolates*. *Scientia Horticulturae*, v.289, 2021.

KARIMI, R.; AREFEH NOORI, A.; *Streptomyces rimosus* rhizobacteria and *Glomus mosseae* mycorrhizal fungus inoculation alleviate salinity stress in grapevine through morphophysiological changes and nutritional balance, *Scientia Horticulturae*, v.305, 2022.

KARUPPIAH, V.; NATARAJAN, S.; GANGATHARAN, M.; ALDAYEL, M. F.; ALSOWAYEH, N.; THANGAVEL, K.; *Development of siderophore-based rhizobacterial consortium for the mitigation of biotic and abiotic environmental stress in tomatoes: An *in vitro* and *in plant* approach*; *Journal of Applied Microbiology*, v.133, e.6, p.3276-3287, 2022.

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. S.; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. P.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S.; *Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought*. *Microbiological Research*, v.168, p.183-191, 2013.

KLEINGESINDS, C. K.; *Sinalização entre plantas e bactérias*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, p.223, 2016.

KUMARI, A., DASH, M., SINGH, S. K.; *Soil microbes: a natural solution for mitigating the impact of climate change*. *Environ Monit Assess* v.195, p.1436, 2023.

LACEY, L. A.; FRUTOS, R.; KAYA, H. K.; VAIL, P.; *Insect Pathogens as Biological Control Agents: Do They Have a Future?* *Biological Control*, v. 21, p. 230-248, 2001.

LANE, D. J.; *16S/23S rRNA sequencing*. In: *Stackebrandt, E., and Goodfellow, M., Eds., Nucleic Acid Techniques in Bacterial Systematic*, John Wiley and Sons, p.115-175, 1991.

LEHMANN, J.; BOSSIO, D. A.; KÖGEL-KNABNER, I.; RILLIG, M. C.; *The concept and future prospects of soil health*. *Nature Reviews Earth & Environment*, v.1(10), p.544-553, 2020.

LI, X.; SUN, P.; ZHANG, Y.; JIN, C.; GUAN, C.; *A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis,*

photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. Environmental and Experimental Botany, v.174, 2020.

LINS, M. R. C. R.; Seleção de actinobactérias da rizosfera da Caatinga com potencial para promoção de crescimento vegetal. (Mestrado em Biotecnologia Industrial) UFPE, p.85, Recife 2014.

LOPES, C. V. A.; ALBULQUERQUE, G. S. C.; *Challenges and strides in the control of pesticide residues in Brasil: 15 years of the Program for Analysis of Pesticide Residues in Food Products*. Cadernos de saúde pública, v.37, p.2, 2021.

MARENGO, J. & BERNASCONI, M.; *Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections*. Climatic Change, v.129, 2014.

MAIA, G. N.; *Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades*. EMBRAPA, v.1., 2004.

MA, C. S.; ZHANG, W.; PENG, Y.; ZHAO, F.; CHANG, X-Q.; XING, K.; ZHU, L.; MA, G.; YANG, H-P. & RUDOLF, V., H. W.; *Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest*. Nat. Commun v.12, p.5351, 2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Histórico de perdas na agricultura brasileira: 2000-2021*. Secretaria de Política Agrícola. Brasília, MAPA, 2022.

MARSCHNER, P.; CROWLEY, D.; RENGEL, Z.; *Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis—model and research methods*. Soil Biology and Biochemistry, v.43, n.5, p.883-894, 2011.

MEENA, V. S.; *Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review*. Ecological Engineering, 2017.

MENA, V.; HORTENCIA, G.; OLALDE, P. V.; *Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Bacillus subtilis BEB-13bs*. Scientia Horticulturae, v.113, p.103-106, 2007.

MEYER, M. C.; BUENO, A., F.; MAZARO, S., M.; SILVA, J., C.; *Bioinsumos na cultura da soja*. Brasília, EMBRAPA, 2022.

MOKRANI, S.; EL-HAFID, N.; *Rhizospheric Microbiome: Biodiversity, Current Advancement and Potential Biotechnological Applications*. In: *Advances in Plant Microbiome and Sustainable Agriculture*. Springer, Singapore, p.39-60, 2020.

MÖHRING, N.; INGOLD, K.; KUDSK, P.; MARTIN-LAURENT, F.; NIGGLI, U.; SIEGRIST, M.; STUDER, B.; WALTER, A.; FINGER, R.; *Pathways for advancing pesticide policies*. Nature Food, v.1, p.535–540, 2020.

NASSAR, A. H.; EL-TARABILY, K. A.; SIVASITHAMPARAM, K.; *Growth promotion of bean (Phaseolus vulgaris L.) by a polyamine producing isolate of Streptomyces griseoluteus*. Journal of Plant Growth Regulation, v.40, p.97-106, 2003.

NAUTIYAL, C. S.; *An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms*. FEMS Microbiol. Lett, v.170, p.265-270, 1999.

NETTLES, R.; WATKINS, J.; RICKS, K.; BOYER, M.; LICHT, M.; ATWOOD, L. W.; PEOPLES, M.; SMITH, R. D.; MORTENSEN, D. A.; KOIDE, R. T.; *Influence of pesticide seed treatments on rhizosphere fungal and bacterial communities and leaf fungal endophyte communities in maize and soybean*. Applied Soil Ecology, v.102, p.61-69, 2016.

NING, C.C.; GAO, P. D.; WANG, B., G.; LIN, W. N.; JIANG, N. H.; CAI, K. Z.; *Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content*. Journal of Integrative Agriculture, v.16, p.1819-1831, 2017.

NIU X.; SONG L.; XIAO Y.; GE W.; *Drought-Tolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Associated with Foxtail Millet in a Semi-arid Agroecosystem and Their Potential in Alleviating Drought Stress*. Frontier Microbiology, v.8, p.2580, 2018.

OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C.; ROCHA-GRANADOS, M. D. C.; GLICK, B. R.; SANTOYO, G.; *Microbiome engineering to improve biocontrol and plant growth-promoting mechanisms*. Microbiol. Res., v.208, p.25-31, 2018.

OLEŃSKA, W. E.; MAŁEK, W.; WÓJCIK, M. *et al.*; *Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review*. Science of the Total Environment, v.743, 2020.

PHALAN, B.; BERTZKY, M; BUTCHART S. H. M.; DONALD, P. F.; SCHARLEMANN, J. P. W.; STATTERSFIELD, A. J.; BALMFORD, A.; *Crop Expansion and Conservation Priorities in Tropical Countries*. Plos One, v.8, p.1, 2012.

PANCHAMI, P. S.; THANUJA, K. G.; KARTHIKEYAN, S.; *Isolation and characterization of indigenous Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) from cardamom rhizosphere*. Current Microbiology, 2020.

PAREYN, F. G. C., ARAÚJO, E. de L.; DRUMOND, M. A.; *Associação de plantas para o Nordeste*. EMBRAPA Semiárido, v.51, p.746-751, 2018.

PRABAKARAN, G.; VAITHIYANATHAN, D.; GANESAN, M.; *Fuzzy decision support system for improving the crop productivity and efficient use of fertilizers*. Computers and Electronics in Agriculture, v.150, p.88-97, 2018.

PEDRINHO, E., A., N.; JUNIOR, R. F. G.; CAMPANHARO, J. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G., M.; *Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho*. *Bragantia*, v.64, p.4, 2010.

PENIDO, E. C. C. *et al.*; *Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops*. *Revista Ciência Agronômica*. Fortaleza, v.50, n.1, p.8-17, 2019.

PEREIRA, P. A. A.; MARTHA, G. B.; SANTANA, C. A.; *The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities*. *Agric & Food Security*, v.1, p.4, 2012.

PEREIRA, M. M.; MORAIS, L. C.; MARQUES, E. A.; MARTINS, A. D.; CAVALCANTI, V. P.; RODRIGUES, F. A.; GONÇALVES, W. M.; BLANK, A. F.; PASSERA A. *et al.*; *Not Just a Pathogen? Description of a Plant-Beneficial Pseudomonas syringae Strain*. *Frontiers in Microbiology*, v.10, 2019.

PASQUAL, M.; DÓRIA, J.; *Humic Substances and Efficient Microorganismus Elicitation of Medicinal Plantas - A review*. *Journal of Agricultural Science*, v.11(7), p.1, 2019.

PÉREZ-FLORES P.; VALENCIA-CANTERO E.; ALTAMIRANO-HERNÁNDEZ J.; PELAGIO-FLORES R.; LÓPEZ-BUCIO J.; GARCÍA-JUÁREZ P.; MACÍAS-RODRÍGUEZ L.; *Bacillus methylotrophicus M4-96 isolated from maize (Zea mays) rhizoplane increases growth and auxin content in Arabidopsis thaliana via emission of volatiles*. *Protoplasma*, v.254(6), p.2201-2213, 2017.

PIGNATTI, W. A.; *Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde*. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.22(10), p.3281-3293, 2017.

RAFI, M. M.; KRISHNNAVENI, M. S.; CHARYULU, P. B. B. N.; *Chapter 17 - Phosphate-Solubilizing Microorganisms and Their Emerging*. *Role in Sustainable Agriculture, Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry*, p.223-233, 2019.

RAMADAN, E. M.; ABDELHAFEZ, A. A.; HASSAN, E. A.; SABER, F. M.; *Plant growth promoting rhizobacteria and their potencial for biocontrol of phytopathogens*. *African Journal of Microbiology Research*, v.10(15), p.486-504, 2016.

RIBEIRO, C. M.; RAMOS, A. M.; FERREIRA, V. A.; LUCCHESI, G.; FANTE, C. A.; *Evaluation and monitoring of levels of contamination by pesticide residues in foods of plant origin sold in the State of Minas Gerais, Brazil*. *Research, Society and Development*, v.10, n.2, 2021.

ROSE, S.; PARKER, M.; PUNJA, Z. K.; *Efficacy of biological and chemical treatments for control of Fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber*. *Plant Disease*, v.87, p.1462-1470, 2003.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R.; YANDIGERI, M.S.; *In vitro biocontrol activity of halotolerant Streptomyces aureofaciens K20: A potent antagonist against*

Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid. Saudi Journal of Biological Sciences, v.24, p.192-199, 2017.

SINGH, A. K.; KUMAR, S.; JYOTI, B.; *Influence of climate change on agricultural sustainability in India: A state-wise panel data analysis.* Asian Journal of Agriculture, v.6, n.1, 2022.

SILVA, M. B. *et al.*; *Extratos de plantas e seus derivados no controle de doenças e pragas.* Controle alternativo de pragas e doenças em agricultura orgânica. Viçosa Epamig, p.33-54, 2010.

SONG, Y.; ZHANG, B.; WANG, J.; KWEK, K.; *The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity.* Technological Forecasting and Social Change, v.185, 2022.

SOUZA, F. P. DE; CASTILHO, T. P. R.; MACEDO, L. O. B.; *Um marco institucional para Bioinsumos na agricultura brasileira baseado na Economia Ecológica.* Sustentabilidade em Debate, v.13, p.247, 2022.

STRASSBURG, B. N. B.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; SILVA, V. P.; VALENTIM, J. F.; VIANNA, E.; ASSAD, E. D.; *When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil.* Global Environmental Change, v.28, p.87-97, 2014.

TABASSUM, B.; KHANB, A.; TARIGA, M.; RAMZANC, M.; SALEEM, M.; KHANA, I.; SHAHIDA, N.; AALIYAA, K.; *Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR.* Applied Soil Ecology, v.121, p.102-117, 2017.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; GAMARRA, N. L. R.; *Future Climate Change in the Caatinga.* Caatinga, Springer, Cham, p.383-410, 2017.

UZMA, M.; IQBAL, A.; HASNAIN, S.; *Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing Pseudomonas aeruginosa in Vigna radiata.* Plos one, v.17, n.2, 2022.

VASCONCELLOS, R. L. F.; SILVA, L. C. P.; RIBEIRO, C. M.; CARDOSO, E. J. B.; *Isolation and screening for plant growth-promoting (PGP) actinobacteria from Araucaria angustifolia rhizosphere soil.* Scientia Agricola, Piracicaba, v.67, n.6, p.743-746, 2010.

VIJ, S.; SHARMA, N.; SHARMA, M.; MOHANTA, T.K; KAUSHIK, P.; *Application of Trichoderma viride and Pseudomonas fluorescens to Cabbage (Brassica oleracea L.) Improves Both Its Seedling Quality and Field Performance.* Sustainability, v.14, n.13, 2022.

VOCCIANTE, M.; GRIFONI, M.; FUSINI, D.; PETRUZZELLI, G.; FRANCHI, E.; *The Role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Mitigating Plant's Environmental Stresses.* Applied Sciencis, v.12, p.1231, 2022.

ZAHID, M.; ABBASI, M.K.; HAMEED S.; RAHIM, N.; *Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalavan region of*

Kashmir and their effect on improving growth and nutriente contentes of maize (Zea mays L.). Frontier Microbiol. v.6, p.207, 2015.

ZOYA, J.; GYAN, D.; TRIPATHI, M.; MISHRA, K *Actinomycetes – The microbial machinery for the organic-cycling, plant growth, and sustainable soil health.* Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v.31, 2021.

4. BIOPROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RPCP ISOLADOS DE *Cnidoscolus quercifolius* POHL (FAVELEIRA) E *Commiphora leptophloeos* (MART.) J.B. GILLET (UMBURANA DE CAMBÃO)

RESUMO

A utilização de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP) adaptadas ao bioma Caatinga abre oportunidades para garantir a eficiência e vantagem de aclimação às intempéries climáticas. Espera-se que estes microrganismos nativos possam colonizar as raízes de plantas cultiváveis de valor econômico, diminuindo os danos e impactos do cultivo convencional. Este capítulo teve como objetivo geral realizar a bioprospecção de RPCP cultiváveis *in vitro*, associadas a raízes de plantas nativas do bioma Caatinga semiárido pernambucano, com potenciais para aplicações na promoção do crescimento vegetal e controle de doenças de plantas. Foram realizados os testes *in vitro* para avaliação dos potenciais para atividade antagonista por meio do método de cultura dupla; em solubilizar fosfatos; para a fixação biológica de nitrogênio; e do potencial para a produção de Ácido Indol Acético (AIA). Alguns isolados foram selecionados e realizado o sequenciamento do gene 16S rRNA, para posterior comparação das sequências com as depositadas no National Center for Biotechnology Information (NCBI). Ao total foram obtidos 40 rizobactérias, sendo 18 de faveleira e 22 de umburana de cambão. Quanto ao crescimento 52% apresentou crescimento rápido (24 h após inoculação) e 48% tardio (72 h). Em relação à forma das células das 40 rizobactérias, 38 são bacilos e 2 cocobacilos. Foi possível detectar que 77,5% dos isolados são Gram negativos e 22,5% são Gram positivos. A ação antagonista em cultura dupla com *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. e *Fusarium* sp, foi eficaz para 23 isolados. A porcentagem de inibição do crescimento radial do fungo foi calculada e observou-se que o isolado TU38 inibiu 76,6% do crescimento de *L. theobromae* e inibiu 82,3% do crescimento de *Fusarium*, o isolado TF29 inibiu 90,3% do crescimento de *Macrophomina*. Um total de 9 isolados (22,5%) dos isolados foram capazes de solubilizar fosfato. O índice de solubilização de fosfato variou de 1,15 a 2,81, apresentando IS médios ($2 < IS < 4$). Todos os isolados foram capazes de fixar nitrogênio, testados *in vitro* em dois meios de cultura (livres de N) JMV e LGI. A produção de AIA foi observada em todos os isolados, dentre eles, 6 obtiveram melhores resultados com produção média de $3,49 \mu\text{g mL}^{-1}$. O sequenciamento do gene 16S rRNA permitiu identificar 7 isolados, como *Bacillus wiedmannii*, *Priestia megaterium* e *Pseudomonas aeruginosa*. Conclui-se que as RPCP isoladas de plantas nativas da Caatinga possuem potencial biotecnológico para produção de bioinsumo. Com destaque para 23 isolados entre eles RU22 (*Pseudomonas aeruginosa*) e TU38 por serem positivos em todos os testes e o restante por demonstrarem potenciais *in vitro* de atividades antagonistas e promotoras do crescimento vegetal.

Palavras-chave: Microrganismos nativos, Semiárido, Atividade antagonista, Solubilização de fosfato, Fixação de Biológica de Nitrogênio. Produção de AIA.

4.1 INTRODUÇÃO

A agricultura do Brasil e do mundo apontam para a adoção de práticas agrícolas cada vez mais sustentáveis (BOLFE *et al.*, 2018). A alta produtividade em curtos períodos de tempo, é resultado de excessivas aplicações de agrotóxicos e fertilizantes minerais em nossos agroecossistemas (ZAHID *et al.*, 2015).

Isto também se deve a muitas culturas comercializadas no país estarem sujeitas a perdas causadas por insetos, bactérias, fungos, plantas espontâneas, entre outros, e para minimizar as consequências dessa exposição, agrotóxicos são aplicados (PENIDO *et al.*, 2019).

Como também os fertilizantes são amplamente utilizados na agricultura convencional. A exemplo do fósforo, que naturalmente está presente em altos teores nos solos brasileiros, que em suma não está prontamente disponível para as plantas (OLIVEIRA, 2021). Os custos desta forma de manejo são elevados, não só de forma econômica, mas também está atrelada ao custo ambiental (ZAHID *et al.*, 2015).

Encara-se o enorme desafio em potencializar a produtividade para um futuro próximo, que demanda alimentos e outros produtos agrícolas de forma sustentável, com menor impacto ao meio ambiente. A manutenção da produtividade agrícola e da saúde ambiental está posta como um dos objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS) (KAMINI *et al.*, 2021). Este desafio deve ser enfrentado sem a expansão de terras e com a utilização de insumos naturais e/ou diminuição de agrotóxicos e fertilizantes minerais prejudiciais aos nossos recursos naturais (HASKETT *et al.*, 2021).

Uma dessas alternativas trata-se da utilização de microrganismos benéficos que desempenham um papel importante na fitoestimulação, biorremediação e biofertilização. São capazes de promover o crescimento de plantas por meio da maior acessibilidade e a busca de outros elementos necessários (RAFI, 2018). Estes microrganismos estão muitas vezes aderidos às suas partículas ou em interação com as raízes das plantas em uma região conhecida como rizosfera (CELESTINO, 2019).

As plantas permanentemente liberam compostos nesta região, que favorecem as inúmeras interações que facilitam a circulação de carbono e nitrogênio sendo liberados pelas raízes como também retirados do solo (OLENSKA *et al.*, 2020). O microbioma que hospeda a rizosfera vem sendo

considerado como segundo genoma da planta, por conferirem saúde, promoção do crescimento e resistência a pragas e doenças (FENG *et al.*, 2021).

As rizobactérias fazem parte deste grupo, e são capazes de produzir auxinas, enzimas hidrolíticas, substâncias antimicrobianas ao produzir metabólitos secundários, e ainda são capazes de disponibilizar fosfato e nitrogênio para as plantas (LINS, 2014; FLÄRD & BUTTNER, 2009). As rizobactérias solubilizadoras de fosfato realizam a acumulação e transformação de fosfato aumentando este recurso e ainda melhorando a saúde dos solos (BATOOL, 2019). A principal auxina de ocorrência natural é denominada ácido-indol-acético (AIA), algumas rizobactérias sintetizam hormônios de crescimento, idênticos aos encontrados nas plantas (PEDRINHO *et al.*, 2010). Outro benefício é a produção de sideróforos bacterianos, que facilitam a absorção de ferro pelos microrganismos (NIU X *et al.*, 2018). Além disso, é característica de algumas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCP), a solubilização de minerais e indução de resistência sistêmica, por possuírem potencial para uma colonização rápida e agressiva, sendo assim caracterizada como um mecanismo de controle de doenças, que evita a entrada de microrganismos patogênicos (RAMADAN *et al.*, 2016).

Sabe-se que os benefícios da RPCP são diversos, porém se restringem por alguns fatores, como, colonização insatisfatória devido a competição com micróbios residentes, estresses abióticos, ou favorecer plantas espontâneas criando competição com plantas-alvo. Contudo, o inoculante produzido por meio de microrganismos nativos, resilientes e adaptados oferecem as condições propícias para a expressão e/ou atividades características da RPCP em benefício das plantas-alvo (HASKETT *et al.*, 2021).

A Caatinga possui plantas extremamente adaptadas as suas condições semiáridas, a exemplo da *Cnidoscolus quercifolius* Pohl da família Euphorbiaceae, popularmente conhecida como faveleira e da *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett da família Burseraceae, popularmente conhecida como umburana de cambão. Realizar a bioprospecção da população microbiana da rizosfera de plantas nativas da Caatinga, nos direciona a obter conhecimento sobre o estabelecimento, distribuição de novas bactérias e seus potenciais (PANCHAMI *et al.*, 2020).

Por serem microrganismos nativos, há garantia da atividade biológica adequada ao clima severo do semiárido, por meio da vantagem de aclimação

(TABASSUM *et al.*, 2017). Espera-se que estes microrganismos possam colonizar a raízes de plantas-alvo de valor econômico, diminuindo os danos e impactos do cultivo convencional, sendo promotoras do crescimento ou suprimindo fitopatógenos de forma adaptada as condições climáticas (REVILLINI; GEHRING; JOHNSON, 2016). O potencial para especificidade da planta hospedeira e a colonização dos micros sítios de raízes sugere que a adaptação local possa ter a capacidade de influenciar o retorno da interação entre solo, bactéria e planta (PII *et al.*, 2015).

Contudo, levanta-se a hipótese de que existem RPCP que possam ser isoladas de plantas do bioma Caatinga e que possuam um potencial de produzirem substâncias que auxiliem no crescimento de plantas e atuem no controle de doenças causadas por fungos fitopatogênicos, com possibilidades para serem promissores inoculantes a serem aplicados na agricultura.

Assim o objetivo do presente estudo é realizar a bioprospecção de Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCP) cultiváveis *in vitro*, associadas a raízes de plantas nativas do bioma Caatinga no semiárido pernambucano (nordeste do Brasil), bem como realizar a caracterização das bactérias e seus potenciais.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 COLETA DO SOLO RIZOSFÉRICO

As amostras de solo rizosférico aderido às raízes foram coletadas de três plantas adultas e saudáveis de *Cnidoscolus quercifolius* Pohl (faveleira) e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (umburana de cambão) (50 g para cada espécie). As plantas estavam localizadas em um fragmento de vegetação de Caatinga nativa no *Campus* Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco – (Univasf-CCA), Estado de Pernambuco, Brasil (S 09°26'20.6"/W 040°29'22.4"). Para a coleta das amostras de solo rizosférico foram removidas as camadas de serrapilheira e os solos coletados 0 a 10 cm da camada de solo onde as raízes estavam concentradas. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, acomodadas em caixas térmicas com gelo e conduzidas ao Laboratório de Microbiologia para o isolamento bacteriano. As raízes foram agitadas para remover o excesso de solo. As três amostras de cada planta, para cada espécie, foram misturadas e obtidas aproximadamente 50 g

de solo rizosférico, formando uma amostra composta para cada espécie das plantas estudadas.

5.2 ISOLAMENTO BACTERIANO

Para cada amostra composta de solo rizosférico de cada espécie de planta, foi retirada 1 g e adicionado à 9 mL de solução salina estéril (NaCl, 0,85%) e homogeneizados em vórtex por 30 s a 150 rpm. Após este procedimento, foram realizadas diluições seriadas (10^{-1} a 10^{-5}), seguidos de plaqueamentos de cada diluição em placas de Petri com meio de cultura Ágar Nutriente (AN), em triplicatas. As placas foram incubadas a 28 °C no escuro até o aparecimento das colônias bacterianas, visando obter isolados com crescimento rápido, após 24 horas, e tardio, até 72 horas.

Cada colônia foi repicada isoladamente em uma placa de Petri pela técnica de esgotamentos por estrias compostas e o procedimento foi repetido por três vezes consecutivas, até a obtenção de culturas puras para cada colônia selecionada. Os isolados receberam códigos começando com as letras “R” (crescimento rápido - após 24 h) ou “T” (crescimento tardio - após 72 h); código “F” e “U” relacionados às plantas de faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl) e umburana de cambão (*Commiphora leptophloeos* Mart. J.B.Gillett) respectivamente, finalmente, números sequenciais para identificação.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS ISOLADOS BACTERIANOS

As colônias foram analisadas quanto a morfologia (cor, forma, bordas, brilho, superfície e aspecto), quanto ao crescimento sendo classificadas como rápido após 24 h da inoculação e tardio, 72 h. Foi realizada a coloração de Gram e verificados a forma e o arranjo das células bacterianas sob microscopia óptica com uma objetiva de 100 x.

5.3 TESTES *IN VITRO* PARA IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

5.3.1 Fixação Biológica de Nitrogênio

Cada isolado foi inoculado em placas de Petri, testados em dois meios de cultura isentos de nitrogênio: LGI (Sacarose 5,0 g; KH_2PO_4 0,6 g; K_2HPO_4 0,2

g; MgSO₄.7H₂O 0,2 g; CaCl₂.2H₂O 0,02 g; FeCl₂ 0,01 g; azul de bromotimol 5 mL; FeEDTA 0,066 g a pH 6,0-6,2; ágar) e JMV (Manitol 5,0 g; K₂HPO₄ 0,6 g; KH₂PO₄ 1,8 g; MgSO₄.7H₂O 0,2 g; CaCl₂.2H₂O 0,022 g; NaMoO₄.2H₂O 0,002 g; NaCl 0,01 g; azul de bromotimol 5 mL; FeEDTA 0,066 g; extrato de levedura 0,1 g; ágar). Plaqueados com duas estrias por placa, de modo que a repetição foi realizada na própria placa, inoculados a 28 °C em BOD, de 24 a 72 h para avaliação do crescimento.

5.3.2 Teste para atividade antagonista em cultura dupla

Após a obtenção de culturas puras das RPCP isoladas, foram realizados os testes de cultura dupla para avaliar a ação desses isolados em relação à inibição de crescimento *in vitro* de fitopatógenos importantes para a região do semiárido pernambucano. Foram utilizadas as estirpes de *Lasiodiplodia theobromae*, *Macrophomina* sp. e *Fusarium* sp., fornecidos pelo laboratório de Fitopatologia da UNIVASF.

Foram inoculados, em placas de Petri em meios de cultura AN, um disco de micélio, com 6 mm de diâmetro de cada fitopatógeno, individualmente, a 1 cm de distância da borda da placa de um lado, e do lado oposto, também com 1 cm de distância da borda, foi inoculado cada isolado das RPCP, testados individualmente. A atividade antagônica foi estimada comparando o crescimento fúngico das placas de cultura dupla com o de placas de controle (ausência de RPCP). Os ensaios foram realizados em triplicata e conduzidos até que, na placa controle, o fungo fitopatogênico alcançasse a borda oposta à qual foi inoculada, mantidos a 28 °C. O cálculo das porcentagens de inibição de cada estirpe foi realizado pela aplicação da seguinte fórmula:

$$I\% = (DM - dm) / DM \times 100$$

Onde I%= porcentagem de inibição do crescimento do fungo, DM = diâmetro médio das colônias do fitopatógeno das três replicatas do controle e dm = diâmetro médio das colônias do patógeno das três replicatas do ensaio de cultura dupla (WALUNJ; ABHANG; JOHN, 2015). Os diâmetros das colônias fúngicas foram medidos com o auxílio de paquímetro digital.

5.3.3 Avaliação da habilidade para solubilização de fosfato

Foi utilizado o meio específico NBRIP (*National Botanical Research Institute's Phosphate Growth Medium*), onde a única fonte de Fósforo (P) estava na forma menos disponível, fosfato tricálcio (NAUTIYAL, 1999). Os isolados de RPCP foram inoculados em 4 repetições e foram avaliados os seus potenciais para solubilização de P. Após a inoculação foram acondicionados a uma câmara BOD por 14 dias à 28 °C. A formação de halo transparente ao redor do isolado foi indicativo da solubilização de fosfato. Os Índices de Solubilização (IS) foram avaliados por meio da razão entre o diâmetro do halo de solubilização pelo diâmetro da colônia, em mm, seguindo a metodologia de Sarkar *et al.*, (2012). Para cada isolado, foram utilizadas 4 repetições. Com base nos índices, os isolados foram classificados por capacidade de solubilização como: baixa ($IS < 2$), média ($2 < IS < 4$) e alta ($IS > 4$) (SARKAR *et al.*, 2012).

5.3.4 Produção de AIA pelas RPCP com ausência e presença de suplementação de L-Triptofano

A produção de compostos indólicos (AIA) foi determinada de acordo com o método de Glickmann e Dessaux (1994). As culturas RPCP foram cultivadas em caldo *Tryptic Soy Broth* (TSB). As culturas foram mantidas em agitador rotativo a 140 rpm sob temperatura ambiente, 28 °C por 48 h. Após o cultivo, foram retirados 2 mL e adicionados em microtubos, centrifugados a 12000 rpm durante 3 min, posteriormente foram coletados 1 mL do sobrenadante coletado para cada isolado. A quantidade de AIA por mL foi estimada conforme o protocolo de GORDON e WEBWER (1951) com algumas modificações e consistiu da mistura de 1 mL do reagente de Salkowski (2% de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,5 M em 37% de H_2SO_4) com 1 mL do sobrenadante da cultura, as amostras foram homogeneizadas e incubadas no escuro por 30 min. Para cada isolado foram realizadas três repetições, bem como, um controle contendo apenas meio de cultura estéril.

Posteriormente, a intensidade da cor foi determinada em um espectrofotômetro a 530 nm de absorbância, conforme o método de ASGHAR *et al.*, (2002). Foi utilizada uma curva padrão com concentrações conhecidas de AIA (0; 0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5 $\mu g mL^{-1}$). Os isolados foram classificados quanto à produção de AIA segundo os parâmetros

estabelecidos por Hartmann *et al.* (1983), sendo eles: baixa produção ($<1 \mu\text{g mL}^{-1}$); média produção ($1-10 \mu\text{g mL}^{-1}$); alta produção ($11-50 \mu\text{g mL}^{-1}$) e elevada produção ($>51 \mu\text{g mL}^{-1}$).

O segundo teste para produção de compostos indólicos (AIA) as culturas RPCP foram cultivadas em caldo Tryptic Soy Broth (TSB) contendo 5 mL do mesmo meio suplementado com $200 \mu\text{g mL}^{-1}$ de L-Triptofano (1 mM) seguindo o mesmo protocolo do teste anterior de acordo com o método de Glickmann e Dessaux (1994) modificado.

5.3.5 Análise do gene 16S rDNA de cepas bacterianas selecionadas

Após as avaliações sobre as potencialidades agrônômicas da aplicação dos isolados, 7 foram selecionados para identificação molecular das espécies. Foram realizadas as extrações do DNA total com o auxílio do Kit de extração NúcleoSpin Soil seguindo a recomendação do fabricante. Em seguida, as amostras DNA total foram submetidas à eletroforese em gel de agarose (0,8%), corados com brometo de etídio e visualizados sob luz UV para verificação da presença de DNA genômico da amostra. Posteriormente, para amplificação do gene rDNA 16S foram realizadas reações de PCR utilizando os *primers* 27F (5' AGAGTTTGATCCTGGCTCAG) e 1492R (5' ACGGCTACCTTGTTACGACTT) (Lane, 1991). Os *amplicons* obtidos foram encaminhados para empresa MacroGen-Korea para realização do sequenciamento pelo método Illumina miseq. As sequências obtidas foram verificadas e comparadas por meio de consulta de similaridade de nucleotídeos com sequências depositadas no banco de dados do National Center for biotechnology Information (NCBI) para identificação das espécies, utilizando a ferramenta BLASTn.

5.3.6 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos a análises de variância (ANOVA) a 5% de significância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, ou agrupadas pelo teste Scott Knott ($P < 0,05$) utilizando o software Speed Stat (CARVALHO *et al.*, 2020).

6. RESULTADOS

3.4.1 Isolamento bacteriano e caracterização

Ao total foram obtidos 40 isolados de rizobactérias, sendo 18 de faveleira e 22 de umburana de cambão. Quanto ao crescimento 52% apresentou crescimento rápido (24 h após inoculação) e 48% tardio (72 h após inoculação). Ao observar as formas dos 40 isolados, verificou-se que 38 são bacilos e 2 cocobacilos. O teste de Gram foi possível detectar que 31 são Gram-negativas e 9 Gram-positivas (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização dos isolados quanto a: forma da célula, coloração de Gram, velocidade de crescimento e características das colônias como, cor (incolor, pigmentada), bordas (Ondulada, liso, lobado, filamentosos lacerados), brilho (transparente, translúcida, opaca), superfície (plana, convexo, elevado, ondulada, concava, achatada), aspecto (viscosa, úmida, membranosa, gelatinosa, leitosa).

ISOLADOS	FORMA/GRAM	VELOCIDADE DE CRESCIMENTO	COR	BORDAS	BRILHO	SUPERFÍCIE	ASPECTO
RF1	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Ondulada	Opaca	Achatada	Leitosa
RU2	Bacilo/-	Rápido (R)	Incolor	Lisa	Brilhosa	Achatada	Membranosa
TU3	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RU4	Bacilo/+	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentoso	Opaca	Achatada	Leitoso
RU5	Bacilo/+	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Achatada	Membranosa
RU6	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentosa	Opaca	Achatada	Leitoso
TU7	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
TU8	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitosa
RU9	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Elevada	Leitosa
TF10	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Ondulada	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RF11	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RF12	Bacilo/+	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RF13	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Elevada	Leitoso
RF14	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Ondulada	Opaca	Achatada	Leitoso
RF15	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentoso	Brilhosa	Achatada	Leitoso
RF16	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lobado	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RF17	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentoso	Brilhosa	Achatada	Leitosa
TU18	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentoso	Brilhosa	Achatada	Leitosa
TU19	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentoso	Brilhoso	Achatada	Leitoso
TU20	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
TU21	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
RU22	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Achatada	Leitoso
TU23	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Elevada	Leitoso
RU24	Bacilo/+	Rápido (R)	Pigmentada	Ondulada	Opaca	Achatada	Leitoso
RU25	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
RU26	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Achatada	Leitosa
RU27	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
TU28	Bacilo/+	Tardio (T)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
TF29	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Achatada	Leitoso
TF30	Bacilo/+	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitoso

TF31	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
TF32	Cocobacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
TF33	Bacilo/-	T Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Elevada	Leitoso
TF34	Cocobacilo/+	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Elevada	Leitosa
RU35	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Lobada	Brilhosa	Achatada	Leitosa
RU36	Bacilo/-	Rápido (R)	Pigmentada	Filamentosa	Brilhosa	Achatada	Leitosa
RU37	Bacilo/+	Rápido (R)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
TU38	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Opaca	Achatada	Leitoso
TF39	Bacilo/-	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitoso
TF40	Bacilo/+	Tardio (T)	Pigmentada	Lisa	Brilhosa	Achatada	Leitosa

6.1 TESTES IN VITRO DOS POTENCIAS DE ANTAGONISMO E PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS

6.1.1 Fixação Biológica de nitrogênio atmosférico

Todos os isolados foram capazes de crescer em meios de cultura isentos de nitrogênio mineral em sua formulação (LGI e JMV), o que indica a capacidade de fixação nitrogênio atmosférico das RPCP de vida livre encontradas nas rizosferas das plantas estudadas (Figura 1).



Figura 1: Cultivo dos isolados das Rizobactérias Promotoras de Crescimento de plantas isoladas de Faveleira e Umburana de Cambão, cultivados em meio LGI, após 24 a 72 horas de cultivo.

6.1.2 Teste em Cultura dupla entre os isolados das RPCP e os fungos fitopatogênicos *L. theobromae*, *Macrophomina* sp. e *Fusarium* sp.

Foi utilizado o método da cultura dupla para verificar a ação antagonista de todos os isolados contra os fungos fitopatogênicos *L. theobromae*, *Macrophomina* sp., *Fusarium* sp. Em relação ao tratamento controle *in vitro*, 7 isolados foram estatisticamente iguais e superiores as demais para o crescimento de *L. theobromae* (Figura 2), 10 isolados para *Macrophomina* sp. (Figura 3), e 6 isolados para *Fusarium* sp. (Figura 4).



Figura 2: Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *L. theobromae* frente aos isolados TU20, RU22, TF30, TF32, RU37, TU38 e TF40, em meio ágar nutriente após 18 dias de inoculação a 28 °C.



Figura 3: Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *Macrophomina sp.* frente aos isolados RU9, RF11, RF13, RF14, RF17, RU22, RU25, RU26, TF29 e TU38, em meio ágar nutriente após 12 dias de inoculação a 28 °C.

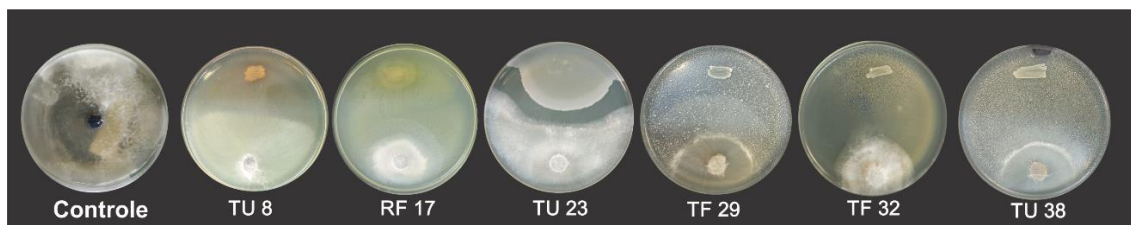


Figura 4: Teste de cultura dupla com os isolados das RPCP obtidas da rizosfera de plantas de Faveleira e Umburana de Cambão na inibição do crescimento de *Fusarium sp.* frente aos isolados TU8, RF17, TU23, TF29, TF32 e TU38, em meio ágar nutriente após 14 dias de inoculação a 28 °C.

Após o cálculo da porcentagem de inibição, foi observado que os 7 isolados TU20, RU22, TF30, TF32, RU37, TU38 e TF40 inibiram uma média de 69,35%, 11 isolados inibiram 55,33%, e 16 isolados inibiram 42,92% sendo em sua maioria inibidores de crescimento de *L. theobromae*, conforme ilustrado na Figura 5.

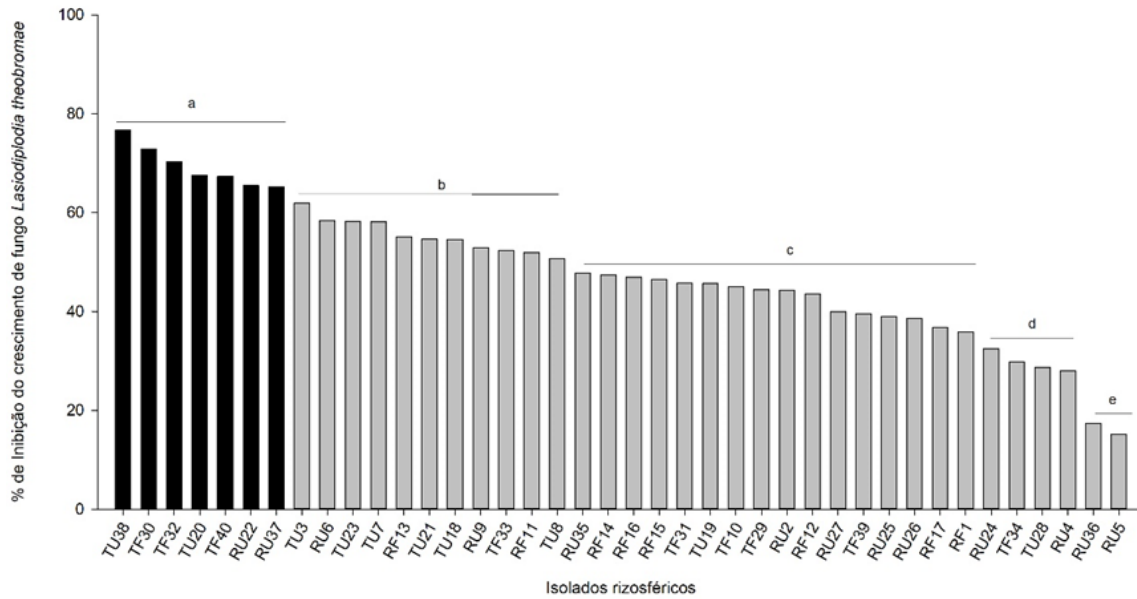


Figura 5: Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *L. theobromae* após 18 dias. O agrupamento das médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Do total, os 10 isolados RU9, RF11, RF13, RF14, TF40, RU22, RU25, RU26, TF29 e TU38, inibiram uma média de 68,61%, 9 isolados inibiram 42,86% e 10 isolados inibiram 32,19% do crescimento de *Macrophomina* sp. (Figura 6).

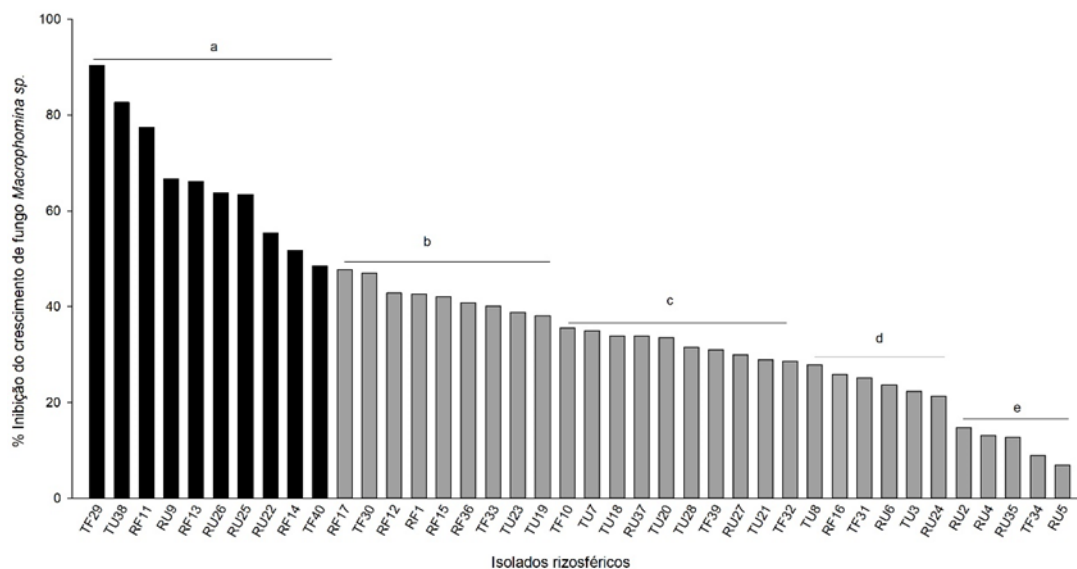


Figura 6: Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *Macrophomina* sp. após 12 dias, as médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Do total os 9 isolados TU38, TF29, TF32, TU8, TU23, RF17, TU21, RU26 e RF14 inibiram 66,3%, 7 isolados inibiram 48,51% e 15 isolados inibiram 38,26% do crescimento de *Fusarium* sp. (Figura 7).

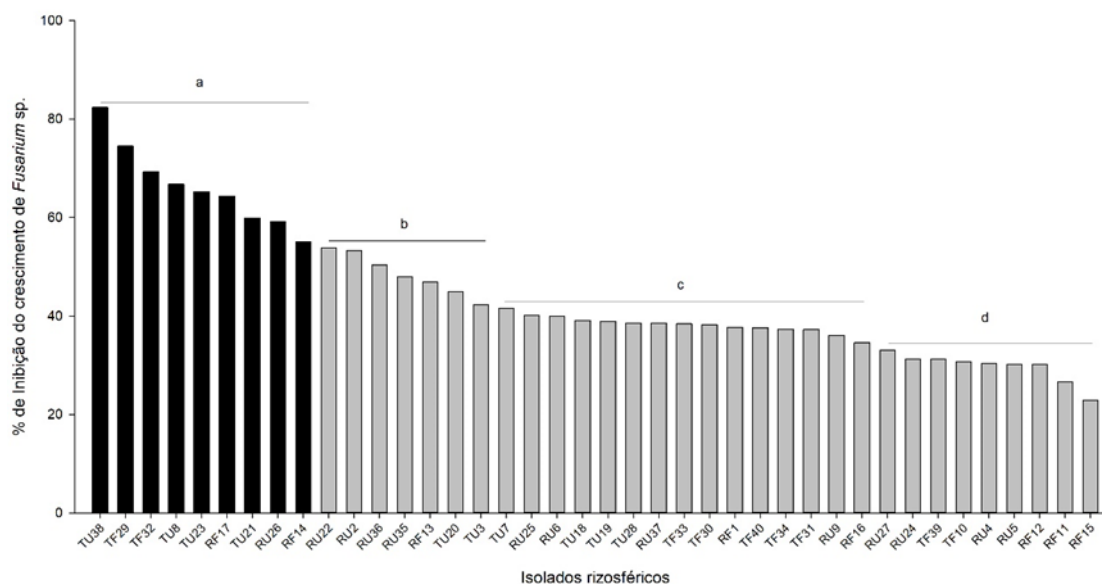


Figura 7: Porcentagens de inibição da inoculação em cultura dupla com os isolados de RPCP e *Fusarium* sp. após 14 dias, as médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Sobre o potencial inibitório em mais de um patógeno, o isolado TU38 foi capaz de inibir as três estirpes fúngicas. Os isolados TU3, RU9, TU8, RF13, RF17, RU22, TU23, TF33, RU36 inibiram duas estirpes entre as espécies testadas, em sua maioria *L. theobromae* e *Fusarium* sp. conforme a Tabela 2. Os isolados RF14, RF25 e RF26 possuem potencial em inibir apenas *Macrophomina* sp. e o isolado RU37 em inibir *L. theobromae*.

Tabela 2: Potencial inibitório das rizobactérias frente aos fitopatógenos *L. theobromae* e *Fusarium* sp. e *Macrophomina* sp., as letras resultam do agrupamento de médias de Scott-Knott a 5%;

Potencial das RPCP	Teste de atividade antagonista			
	Isolados	<i>L. theobromae</i>	<i>Macrophomina</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.
	RF1	c	b	c
	RU2	c	e	b
	TU3	b	d	b
	RU4	d	e	d
	RU5	e	e	d
	RU6	b	d	c

TU7	b	c	c
TU8	b	d	a
RU9	b	a	c
TF10	c	c	d
RF11	b	a	d
RF12	c	b	d
RF13	b	a	b
RF14	c	a	e
RF15	c	b	d
RF16	c	d	c
RF17	c	b	a
TU18	b	c	c
TU19	c	b	c
TU20	a	c	b
TU21	b	c	e
RU22	a	a	b
TU23	b	b	a
RU24	d	d	d
RU25	c	a	c
RU26	c	a	e
RU27	c	c	d
TU28	d	c	c
TF29	c	a	a
TF30	a	b	c
TF31	c	d	c
TF32	a	c	a
TF33	b	b	c
TF34	d	e	c
RU35	c	e	b
RU36	e	b	b
RU37	a	c	c
TU38	a	a	a
TF39	c	c	d
TF40	a	b	c

6.1.3 Solubilização de fosfato inorgânico

Quanto a solubilização de fosfato inorgânico *in vitro* um total de 9 isolados (TF33, TF31, RU22, TU20, TF39, RU25, RU26, RF1 e TU28) apresentaram halo transparente em torno da colônia. Este número corresponde a 22,5% do total de isolados. O Índice de Solubilização de fosfato foi calculado e observou-se uma variação de 1,15 a 2,81, sendo 7 isolados considerados com média capacidade de solubilização ($2 < IS < 4$), e 2 isolados RU26 e TU28

considerados com baixa solubilização. Dos 9 isolados que apresentaram halo transparente, 1 isolado, TF33 (Figura 8), se apresentou estatisticamente igual ao TF31 e superior aos demais com IS de 2,81, sendo os isolados TF31, RU22, TU20 TF39, RU25 estatisticamente iguais (Figura 9).

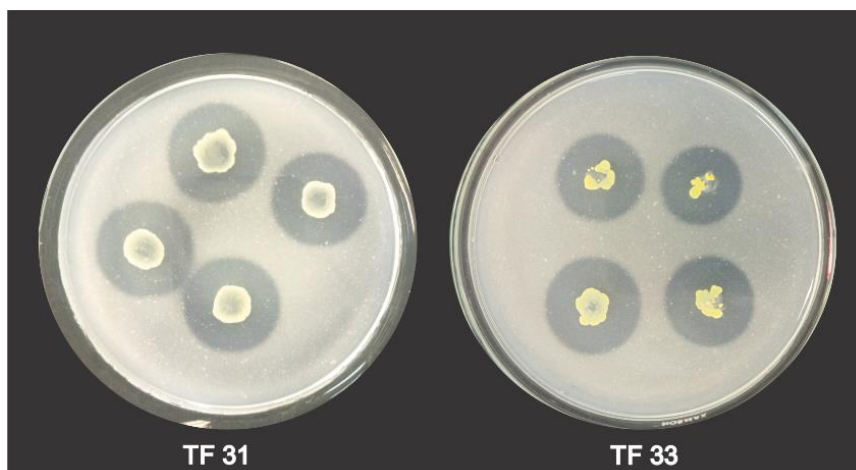


Figura 8: Formação do halo transparente indicativo da capacidade de solubilização dos isolados de RPCP isolados da rizosfera de faveleira no 14º dia após inoculação.

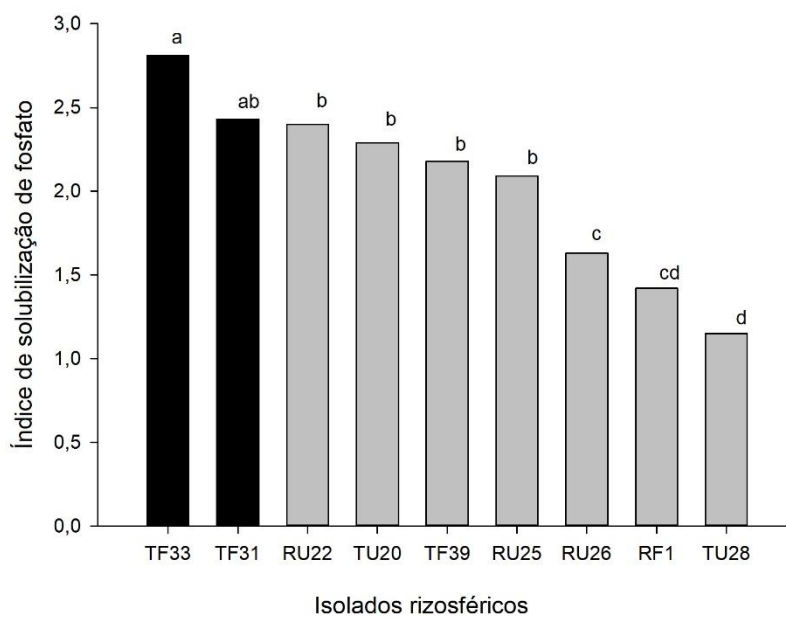


Figura 9: Índice de solubilização (diâmetro do halo solubilizado/diâmetro da colônia) de isolados de faveleira e umburana de cambão. As letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

6.1.4 Produção de AIA

Os resultados das absorvâncias foram convertidos em concentração de AIA produzido ($\mu\text{g mL}^{-1}$) por meio da equação $Y = 0,3164x - 0,3358$, obtida através da construção de uma curva padrão a partir de valores padrões de concentração de AIA já estabelecida (0; 0,25; 0,50; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5 $\mu\text{g mL}^{-1}$).

Todos os isolados foram capazes de produzir AIA com faixas diferentes nos dois testes, o primeiro (sem adição de triptofano) ou o segundo teste (com 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de triptofano). A classificação para produção deste hormônio foi de acordo com os índices estabelecidos por Hartmann *et al.* (1983). No primeiro teste, os 40 isolados foram enquadrados com uma média produção do fitohormônio com destaque para 6 isolados TU23, RF11, RU5, TF39, TU38 e TF30 que obtiveram produção média de 3,50 $\mu\text{g mL}^{-1}$, os isolados RU22, TF32, RU37, TU3, RF14 e RU25 produziram, em média, 2,82 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Os valores mais baixos foram dos isolados RU4, TF34 e TF29 com valor médio de 1,43 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Figura 10).

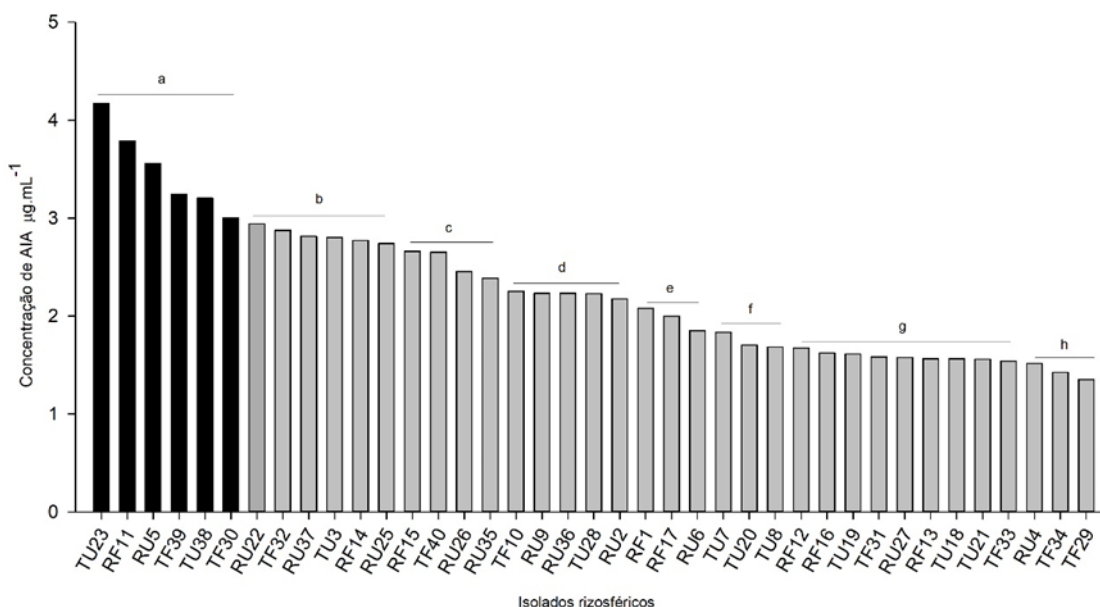


Figura 10: Produção de AIA sem a presença de triptofano dos isolados de RPCP obtidos de Umurana de cambão e Faveleira. Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

No segundo teste (com adição de triptofano 200 $\mu\text{g mL}^{-1}$), nos 40 isolados foram também observados uma produção do fitohormônio. Porém

obtiveram uma produção média menor em comparação com o outro tratamento sem adição do precursor, o valor médio produzido foi $1,95 \mu\text{g mL}^{-1}$, com destaque para 9 isolados RU6, RF32, TU23, TF39, RU26, RU35, RU37, RU24, TF29. Dentre os destaques deste tratamento, 4 se repetem nos dois testes com melhores médias na produção do fitohormônio RF32, TU23, TF39 e RU37 (Figura 11).

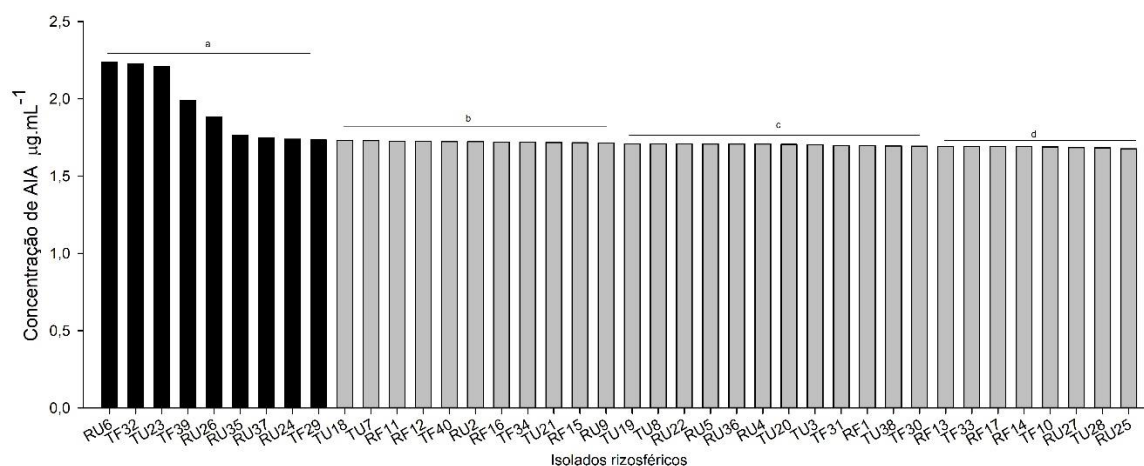


Figura 11: Produção de AIA, com a presença de triptofano, dos isolados de RPCP obtidas de umburana de cambão e faveleira. Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

6.1.5 Análise do gene 16S rDNA dos isolados bacterianos selecionados

Após constatação dos isolados com melhores resultados em todos os testes de potencial biotecnológico *in vitro*, alguns foram selecionados para extração do DNA genômico, amplificação da região rDNA 16S e posterior identificação molecular das espécies encontradas. Foram selecionados 7 isolados, sendo 5 isolados de *Cnidoscopus quercifolius* Pohl (faveleira) e 2 de *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (umburana de cambão). Com base na identidade da sequência do gene 16S rRNA foi constado as espécies *Bacillus wiedmanni*, *Bacillus pumilus*, *Priestia megaterium*, *Lysinibacillus sphaericus* e *Pseudomonas aeruginosa* (Tabela 3).

Tabela 3: Identificação das cepas obtidas do solo rizosférico de *Cnidoscopus quercifolius* Pohl e *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett de por meio do sequenciamento 16S rDNA.

Isolado	Espécies mais próximas	Acesso nº	Similaridade
RF1	<i>Bacillus wiedmanni</i>	MF681896.1	99,42%

TF2	<i>Priestia megaterium</i>	KF933675.1	98,84%
RF11	<i>Lysinibacillus sphaericus</i>	EU741060.1	99,20%
RU22	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	MK348757.1	83,03%
RU24	<i>Priestia megaterium</i>	CP032527.2	99,71%
TF33	<i>Bacillus pumilus</i>	GQ203617.1	97,44%
TF39	<i>Bacillus wiedmannii</i>	MF681896.1	97,85%

7. DISCUSSÃO

Isolados de plantas nativas da Caatinga são promissores para a utilização na agricultura. A quantidade de bactérias constatadas com efeito inibitório a fitopatógenos foi uma descoberta importante. No presente estudo de 40 isolados 34 foram capazes de inibir o crescimento de *L. theobromae* com percentual de inibição variando de 49,9 a 69,34%, índices maiores comparados ao estudo de Chukeatirote, *et al.* (2018) que em sua triagem de rizobactérias antagonicas a *L. theobromae* encontrou índices variando de 25 a 67% capazes de inibir o fitopatógeno. RPCP pertencentes aos gêneros de *Bacillus* sp e *Pseudomonas* sp. como os encontrados no presente estudo, podem suprimir microrganismos patogênicos, por meio da secreção de metabólitos extracelulares que são inibitórios (GOSWAMI *et al.*, 2016; SIMONETTI *et al.*, 2018). Dentre estes compostos pode-se destacar as enzimas quitinase e glucanase para bactérias destes mesmos gêneros, que promovem uma ação lítica aos patógenos fúngicos como também e emissão de compostos voláteis antimicrobianos, que são liberados pelas bactérias (KAVROULAKIS *et al.*, 2010; GUEVARA-AVENDÁNO *et al.*, 2019).

Para a *Macrophomina* sp. 26 isolados foram constatados com percentual de inibição 24,35 a 42,86%. Dubei, *et al.* (2009) em seu experimento demonstrou que a cepa *Azobacter chroococcum* causou 81% de inibição no crescimento de *Macrophomina phaseolina*, verificado em microscopia de luz e microscopia eletrônica de varredura, a lise das hifas com perfuração da parede celular do patógeno. Outros micro-rganismos do solo como actinobactérias halotolerantes foram capazes de inibir 65 % de *M. phaseolina*, evidenciando a importância de se bioexplorar áreas nativas condicionadas a algum estresse

(Shrivastava *et al.*, 2017). Para *Fusarium* sp. 31 isolados apresentaram percentual de inibição de 38,26 a 66,30 %. Estudos mostram que em condições de campo a ação antagonista foi demonstrada por *Trichoderma harzianum*, um fungo com ação fungicida, em consórcio com *Pseudomonas fluorescens* onde reduziram a doença da murcha do *Fusarium* sp. em 86 % (ANKATI *et al.*, 2021). A produção de substâncias, possivelmente favoreceram o estímulo a indução de resistência sistêmica, competição com fitopatógenos, aumento da nutrição e crescimento das plantas em troca de elementos que a planta oferta em sua rizosfera (CHAIHARN *et al.*, 2009; BOLFE *et al.*, 2018; HASHEM *et al.*, 2019; PASCALE *et al.*, 2020).

A produção de exopolissacarídeos é uma característica importante de adaptação ao clima semiárido. Os micro-organismos rizosféricos podem ter desenvolvido mecanismos de adaptação e tolerância a seca produzindo enzimas, exopolissacarídeos e biofilmes que formam uma camada de proteção ao redor das células podendo estar atuando na antibiose, como também na redução da perda de água pelas plantas, aumentando a agregação e maior estabilidade do solo (DENG *et al.*, 2015).

Quanto às características para promoção do crescimento vegetal, no presente estudo, as RPCP puderam solubilizar fósforo, sendo interessantes visando a diminuição do uso dos fertilizantes químicos fosfatados. Na solubilização de fósforo *in vitro* 22,5 % dos 40 isolados demonstraram potencial solubilizador sendo 10 % isolados da planta faveleira e 12,5 % da planta umburana de cambão. Os isolados com este potencial solubilizador enriquece os sistemas agrícolas de forma sustentável com possíveis melhorias na produtividade (ZHANG *et al.*, 2021). Além disso, as bactérias solubilizadoras de fósforo por meio das enzimas irão atuar nas moléculas com P orgânico otimizando a liberação de P biodisponível via mineralização da matéria orgânica (HUANG *et al.*, 2021). Os isolados apresentaram solubilização de fósforo igual ou superior a 2,0, sendo considerados solubilizadores (NAUTIYAL, 1999; HARA; BATTOOL *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021). A obtenção de rizobactérias com estas características já foi observada em rizosferas de outras plantas da Caatinga como *Melocactus zehntneri*, *Cereus jamacaru* e *Pilosocereus gounellei* em sua maioria, da família Bacillaceae, que trouxeram como benefício o aumento da área foliar e do comprimento do colmo em *Zea mays* L. (KAVAMURA *et al.*, 2013).

Com relação a produção de AIA do primeiro teste (sem adição de triptofano), todas as cepas produziram o fitohormônio, sendo enquadradas com média produção (HARTMANN *et al.*, 1983). Se destacaram 6 isolados TU23, RF11, RU5, TF39, TU38, TF30, os quais atingiram uma média igual a $3,49 \mu\text{g mL}^{-1}$. Observações semelhantes para a produção de AIA em condições semiáridas foram relatadas por Silva, (2022) que de 32 isolados testados, todos produziram AIA sendo 28 foram classificados com média produção tendo destaque para 2 isolados com $5,95 \mu\text{g mL}^{-1}$.

Interessante observar que na maioria dos estudos, o L-triptofano é adicionado ao meio de cultura, visto ser responsável pela biossíntese de AIA. A média atribuída com adição do precursor em alguns estudos, variam de 5 a $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ (HARTMANN *et al.*, 1983; CHAVES *et al.*, 2015). Entretanto no presente estudo, o segundo teste (com adição de triptofano $200 \mu\text{g mL}^{-1}$), mesmo os isolados sendo enquadrados com uma média produção do fitohormônio, obtiveram uma produção média menor em comparação com o primeiro teste (sem adição do precursor), o valor médio produzido foi $1,95 \mu\text{g mL}^{-1}$. A via dependente de triptofano são as que mais produzem o fitohormônio nas bactérias (NAVEED *et al.*, 2015), porém existem outras vias independentes para produção de AIA, como pode ter ocorrido com os isolados testados (KHALID *et al.*, 2004; RAMOS *et al.*, 2021). Como também o meio de cultura utilizado caldo triptona de soja é composto por diversos aminoácidos o que pode ter influenciado a produção por outras vias, além disso, estes valores podem ser mais próximos ao potencial de produção destes isolados no solo, por não haver um fornecimento deste aminoácido no ambiente na mesma proporção que pode ser fornecido no meio de cultura. Os índices propostos por Hartmann *et al.*, (1983) foram testados com e sem a adição de triptofano, na sua presença houve aumentos significativos na promoção do crescimento de plantas, mas que sem ele os efeitos também foram positivos e mais similares com as condições naturais da rizosfera.

Foi sugerido em outro estudo que a eficiência de rizobactérias na produção de AIA variou conforme a cultura, solo (rizosférico x não-rizosférico) e alteração do L-triptofano, onde algumas rizobactérias foram eficientes produtoras de AIA mesmo sem a presença do precursor produzindo até $6,35 \mu\text{g mL}^{-1}$, sendo testadas em meios de culturas diferentes (KHALID *et al.*, 2004). Essa informação é apoiada pelo fato de que os micro-organismos do solo, mais

precisamente da rizosfera, são fontes potenciais de auxinas e que podem ser promotoras do crescimento de plantas (FLÄRDH; BUTTNER, 2009).

Os isolados identificados foram constados em outros estudos como sendo promissores antagonistas e promotores do crescimento vegetal, parentes próximos das espécies encontradas neste estudo *Bacillus wiedmannii*, *Bacillus pumillis*, *Lysinibacillus sphaericus*, como também da espécie *Pseudomonas aeruginosa*. Segundo Mena, *et al.*, (2007) a inoculação de RPCP do gênero *Bacillus* sp. mostraram-se eficientes no aumento do sistema radicular do tomateiro, como maior peso seco da raiz e comprimento. *Bacillus wiedmannii* está relacionado com a indução de tolerância à seca as plantas como sendo um dos métodos promissores para reduzir o consumo de água nas culturas, conforme demonstrou Karimzad, *et al.*, (2023) no isolamento e testes *in vitro* na região do Irã em campos de trigo. *B. xiamenensis* foi testado em casa de vegetação contra a podridão vermelha da cana-de-açúcar com resultados promissores podendo suprimir os sintomas da doença, como aumentar a produção de enzimas antioxidantes e do conteúdo de prolina, o que explica a resistência sistêmica induzida contra a podridão vermelha da cana-de-açúcar (Ye XIA *et al.*, 2020). Outro potencial das RPCP interessante no ponto de vista do estresse por seca, *B. amyloliquefaciens* MMRo4 como outras cepas do mesmo gênero, induziam, através da ACC desaminase, a tolerância ao estresse hídrico após a bacterização em sementes de milho (MURALI *et al.*, 2021).

Pseudomonas aeruginosa confere proteção contra agentes patogênicos de várias plantas importantes para agricultura conforme a literatura (GHADAMGAHI *et al.*, 2022; UZMA *et al.*; 2022). Outra espécie próxima a *Pseudomonas fluorescens* serviram para uma gama de benefícios RPCP incluindo o desempenho produtivo em repolho e aumento na formação de raízes (VIJ *et al.*, 2022). Esta espécie é capaz de sintetizar sideróforos fluorescentes amarelo-esverdeados solúveis em água, o que é uma característica muito interessante do ponto de vista taxonômico conforme constato em um dos isolados (RU22) na caracterização (KASHYAP *et al.*, 2020).

Levando em consideração que estes isolados com diferentes potenciais biotecnológicos são adaptados às condições locais, oriundos de plantas nativas da Caatinga, podem ser utilizados como promotores do crescimento de plantas por fixarem nitrogênio atmosférico, solubilizar fosfatos, produzirem AIA e serem antagonistas a fungos fitopatogênicos conforme

constatado *in vitro*. Diante dos resultados existem oportunidades de avançar na produção de bioinsumos para utilização na agricultura. Com relevância na questão ambiental para potencializar os sistemas agrícolas de forma mais sustentável.

A Caatinga em comparação com outros biomas, ainda é pouco estudado (OLIVEIRA *et al.*, 2018). As plantas em ambientes naturais são extremamente adaptadas ao clima árido. Investigar o comportamento de microrganismos adaptados às condições que o bioma oferece, para entender sua dinâmica em ciclos biogeoquímicos, na promoção do crescimento de plantas, ou no controle de doenças pode contribuir para melhorar as práticas agrícolas na região, visando a sustentabilidade.

É de extrema importância encontrar alternativas, como a utilização e descobertas de microrganismos nativos, para a mitigação dos efeitos negativos da agricultura intensiva e agregação de valor na cadeia de produção regional. Neste estudo, a bioprospecção de rizobactérias que colonizam as raízes de plantas nativas da Caatinga, revelou-se uma opção interessante para uma agricultura mais sustentável. Desta forma, estes isolados podem passar para a próxima etapa, (casa de vegetação), e posteriormente a campo para verificar se os efeitos registrados *in vitro*, podem se reproduzir nestas condições com eficiência para produção de bioinsumos.

8. CONCLUSÃO

Os isolados obtidos no presente estudo têm potencial biotecnológico. A bioprospecção de plantas nativas da Caatinga são fontes promissoras para obtenção de microrganismos com potencial no uso agrícola, apresentando funções essenciais para promoção do crescimento vegetal. Com destaque para os isolados RU22 (*Pseudomonas aeruginosa*) e TU23 que foram positivos em todos os testes realizados, e para os isolados RF11 (*Lysinibacillus sphaericus*), RU26, TF32, TU38 e TF40 sendo promissores.

9. REFERÊNCIAS

ANKATI, S.; SRINIVAS, V.; PRATYUSHA, S.; GOPALAKRISHNAN, S.; *Streptomyces consortia-mediated plant defense against Fusarium wilt and plant growth-promotion in chickpea*. Microbial Pathogenesis, v.157, 2021.

ASGHAR, H.; ZAHIR, Z.; ARSHAD, M. *et al.* *Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in Brassica juncea L.* Biol Fertil Soils v.35, p.231–237, 2002.

ARKHIPOVA, T.; MARTYNENKO, E.; SHARIPOVA, G.; KUZMINA, L.; IVANOV, I.; GARIPPOVA, M.; KUDOYAROVA, G.; *Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Content of Abscisic Acid and Salt Resistance of Wheat Plants.* Plants, v.9, p.1429, 2020.

BATOOL, S.; IQBAL, A. *Phosphate solubilizing rhizobacteria as alternative of chemical fertilizer for growth and yield of Triticum aestivum (Var. Galaxy 2013).* Saudi Journal of Biological Sciences, v.26, p.1400-1410, 2019.

BOLFE, E. L. *et al.*; *Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira.* EMBRAPA Brasília, v.1, p.77, 2018.

CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q.; MENDES, F.Q.; TAVARES, L.F. *SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments.* Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.20, 2020.

CELESTINO, E.L.F.G.; *Bactérias promotoras de crescimento isolada da Caatinga alagoana.* Universidade Federal de Alagoas, tese, p.93, 2019.

CHAIHARN, M.; CHUNHALEUCHANON, S.; LUMYONG, S.; *Screening siderophore producing bacteria as potential biological control agent for fungal rice pathogens in Thailand.* World journal Microbiol. Biotechnol, v.25, p.1919–1928, 2009.

CHAVES, V.; SANTOS, S. G.; SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; REIS, V. M.; *Desenvolvimento Inicial de Duas Variedades de Cana-de-açúcar Inoculadas com Bactérias Diazotróficas.* Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, n.6, p.1595-1602, 2015.

CHUKEATIROTE, E.; PHUEAOUAN, T.; PIWKAM, A.; *Screening of rhizosphere soil bacteria for biocontrol of Lasiodiplodia theobromae.* Agriculture and Natural Resources, v.52, p.325-329, 2018.

CROWDER, D.; NORTHFIELD, T.; STRAND, M.; SNYDER, W. E.; *Organic agriculture promotes evenness and natural pest control.* Nature, v.466, p.109–112, 2010.

DENG, J.; ORNER, E.; CHAU, J. F.; ANDERSON, E. M.; KADILAK, A. L.; RUBINSTEIN, R. L.; BOUCHILLON, G. M.; GOODWIN, R. A.; GAGE, D. G.; SHOR, L. M.; *Synergistic effects of soil microstructure and bacterial EPS on drying rate in emulated soil micromodels.* Soil Biology and Biochemistry, v.83, p.116-124, 2015.

DUBEY, R. C.; MAHESHWARI A. A.; DVARUN KUMAR A. K.; PANDEY B. R. R.; *Growth enhancement of Sesamum indicum L. by rhizosphere-competent Azotobacter chroococcum AZO2 and its antagonistic activity against Macrophomina phaseolina.* Manipur University Canchipur, Imphal, v.249, p.404, 2011.

FENG, H. et al.; *Chemotaxis of beneficial rhizosphere to root exudates: The first step towards root-microbe rhizosphere interactions*. International Journal Molecular Science, v.22, p.6655, 2021.

FERREIRA, M. L. C. P.; *A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios*. Revista Direito Sanitário, v.15 n.3, p.18-45, 2015.

FLÄRDH, K.; BUTTNER, M.; *Streptomyces morphogenetics: dissecting differentiation in a filamentous bacterium*. Nat. Rev. Microbiol., v.7, p.36–49, 2009.

GHADAMGAHI, F. et al.; *Plant Growth-Promoting Activity of Pseudomonas aeruginosa FG106 and Its Ability to Act as a Biocontrol Agent against Potato, Tomato and Taro Pathogens*. Biology (Basel), v.14, n.1, p.11, 2022.

GLICKMANN E.; DESSAUX, Y.; *A critical examination of the specificity of the slakowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria*. Applied and Environmental Microbiology, p.793-796, 1994.

GOSWAMI, D.; THAKKER, J. N.; DHANDHUKIA, P. C.; *Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review*. Cogent Food & Agriculture, v.2, p.1, 2016.

GOUDA S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H-S.; PATRA, J. K.; *Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture*. Microbiol Res, v.206, p.131–140, 2018.

GUEVARA-AVENDÃÑO, E. et al.; *Avocado rhizobacteria emit volatile organic compounds with antifungal activity against Fusarium solani, Fusarium sp. associated with Kuroshio shot hole borer, and Colletotrichum gloeosporioides*. Microbiological Research, v.219, p.74-83, 2019.

HARA, F. A. S. & OLIVEIRA, L. A.; *Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos de Iranduba, Amazonas*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.7, 2005.

HARTMANN, A.; MAHAVIR SINGH, AND W. KLINGMÜLLER. *Isolation and characterization of Azospirillum mutants excreting high amounts of indoleacetic acid*. Canadian Journal of Microbiology. v.29(8), p.916-923, 1983.

HASHEM, A. B. A.; TABASSUM C., B.; FATHI A., E.; *Bacillus subtilis: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress*. Saudi Journal of Biological Sciences, v.1291-1297, 2019.

HUANG, Y.; DAI, Z.; LIN, J.; LI, D.; YE, H.; DAHLGREN, R. A. & XU, J.; *Labile carbon facilitated phosphorus solubilization as regulated by bacterial and fungal communities in Zea mays*. Soil Biology and Biochemistry, v.163, p.108465, 2021.

KAMINI, G. et al.; *Advances in Bio-Inoculants; Chapter 1 - Microbial biofertilizer: Types, applications, and current challenges for sustainable agricultural production*. Biofertilizers, v.1, p.3-19, 2021.

KASHYAP, B. K.; SOLANKI, M. K.; PANDEY, A. K.; PRABHA, S.; KUMAR, P.; KUMARI, B.; *Bacillus as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Promising Green Agriculture Technology*. In: ANSARI, R.; MAHMOOD, I.; *Plant Health Under Biotic Stress*, 2019.

KARIMZAD, L.; KHAKVAR, R.; YOUNESSI-HAMZEKHANLU, M.; NOROUZI, M.; MINA AMANI, M.; SABOURMOGHADDAM, N.; *Drought tolerance induction in wheat by inoculation of seeds with a novel growth-promoting bacteria*, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v.47, 2023.

KAVROULAKIS, N.; NTOUGIAS, S.; BESI, M.; KATSOU, P.; DAMASKINO, A.; EHALIOTIS, C.; ZERVAKIS, G. I.; PAPADOPOULOU, K. K.; *Antagonistic bacteria of composted agro-industrial residues exhibit antibiosis against soil-borne fungal plant pathogens and protection of tomato plants from *Fusarium oxysporum*.sp. *radicis-lycopersici**. Springer Science Business, v.9, 2010.

KHALID A.; TAHIR S.; ARSHAD, M.; ZAHIR Z. A.; *Relative efficiency of rhizobacteria for auxin biosynthesis in rhizosphere and non-rhizosphere soils*. *Australian Journal of Soil Research*, v.42, p.921-926, 2004.

LANE, D. J.; *16S/23S rRNA sequencing*. In: *Nucleic acid techniques in bacterial systematics*. Stackebrandt, E., and Goodfellow, M., eds., John Wiley and Sons, p.115-175, 1991.

LEINWEBER, P.; LÜNSMANN, F.; ECKHARDT, K.U.; *Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany*. *Soil Use and Management*, v.13, p.82-89, 1997.

LINS, M. R. C. R.; *Seleção de actinobactérias da rizosfera da Caatinga com potencial para promoção de crescimento vegetal*. (Mestrado em Biotecnologia Industrial) UFPE, p.85, 2014.

MURALI, M.; BRIJESH SINGH, B.; GOWTHAM, H. G.; SHILPA, N.; PRASAD, M.; AIYAZ, M.; AMRUTHESH, K. N.; *Induction of drought tolerance in *Pennisetum glaucum* by ACC deaminase producing PGPR- *Bacillus amyloliquefaciens* through Antioxidant defense system*. *Microbiological Research*, v.253, 2021.

NAUTIYAL, C. S.; *An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms*. *FEMS Microbiol Lett*, v.170, p.265-270, 1999.

NAVEED, M.; QURESHI, M.A.; ZAHIR, Z.A.; HUSSAIN, M. B.; SESSITSCH, A.; MITTER, B.; *L-Tryptophan-dependent biosynthesis of indole-3-acetic acid (IAA) improves plant growth and colonization of maize by *Burkholderia phytofirmans* PsJN*. *Ann Microbiol*, v.65, p.1381–1389, 2015.

NIU X.; SONG L.; XIAO Y.; GE W.; *Drought-Tolerant Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Associated with Foxtail Millet in a Semi-arid Agroecosystem and Their Potential in Alleviating Drought Stress*. *Frontier Microbiology*, v.8, p.2580, 2018.

OLEŃSKA, W. E.; MAŁEK, W.; WÓJCIK, M. *et al.*; *Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review*. Science of the Total Environment, v.743, 2020.

OLIVEIRA, A. F. N.; SOUZA, L. I. S.; COSTA, V. S. C.; ANDRADE, J. V. T.; LIMA, L. A. L.; SALES, P. A. F.; SILVA, D. F.; PEREIRA, A. P. A.; MELO, V. M.; *Long-term effects of grazing on the biological, chemical, and physical soil properties of the Caatinga biome*. Microbiological Research, v.253, 2021.

PASCALE, A.; PROIETTI, S.; PANTELIDES, I. S.; IOANNIS, A. S.; *Modulation of the Root Microbiome by Plant Molecules: The Basis for Targeted Disease Suppression and Plant Growth Promotion*. Frontiers in Plant Science, v.10, 2020.

PEDRINHO, E., A., N.; JUNIOR, R. F. G.; CAMPANHARO, J. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G., M.; *Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho*. Bragantia, v.64, p.4, 2010.

PENIDO, E. C. C. *et al.*; *Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops*. Revista Ciência Agronômica. Fortaleza, v.50, n.1, p.8-17, 2019.

PII, Y., MIMMO, T., TOMASI, N. *et al.*; *Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review*. Biol Fertil Soils v.51, p.403–415, 2015.

RAMADAN, E. M.; ABDELHAFEZ, A. A.; HASSAN, E. A.; SABER, F. M.; *Plant growth promoting rhizobacteria and their potencial for biocontrol of phytopathogens*. African Journal of Microbiology Research, v.10, p.486-504, 2016.

RAMOS, P. DE P.; MELLONI, R.; SILVA, N. L. P.; MELLONI, E. G. P.; FERREIRA, G. M. DOS R.; SILVA, L. F. DE O.; SILVA, T. A. C.; *Isolamento, caracterização de rizobactérias e análise da produção de ácido indolacético visando ao enraizamento de estacas de oliveira (Olea europaea L.)*. Ciência Florestal, v.31, n.4, p.1612–1630, 2021.

RAFI, M. M.; KRISHNNAVENI, M. S.; CHARYULU, P. B. B. N.; *Chapter 17 - Phosphate-Solubilizing Microorganisms and Their Emerging*. Role in Sustainable Agriculture, Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry, p.223-233, 2019.

REVILLINI, D.; GEHRING, C. A. AND JOHNSON, N. C.; *The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant–soil feedback systems*. Funct Ecol, v.30, p.1086-1098, 2016.

SANTOS, A. F. J.; MORAIS, A. S.; MIRANDA, J. S.; MOREIRA, Z. P. M.; FEITOZA, A. F. A.; LEITE, J.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; *Cacti-associated rhizobacteria from Brazilian Caatinga biome induce maize growth promotion and alleviate abiotic stress*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.15, n.3, 2020.

SARKAR, A.; ISLAM, T.; BISWAS, G. C.; ALAM, S.; HOSSAIN, M.; TALUKDER, M. N.; *Screening for Phosphate Solubilizing Bacteria Inhabiting the Rhizosphere of Rice Grown in Acidic Soil in Bangladesh*. Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica, v.59, p.199–213, 2012.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A.; *Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance*. Biometrics, v.30, p.507-512, 1974.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R.; YANDIGERI, M.S.; *In vitro biocontrol activity of halotolerant Streptomyces aureofaciens K20: A potent antagonist against Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid*. Saudi Journal of Biological Sciences, v.24, p.192-199, 2017.

SILVA, O. A.; *Prospecção de actinobactérias do semiárido com potencial biotecnológico como biofertilizantes*. Tese, UFC, 2022.

SIMONETTI, E.; ROBERTS, I. N.; MONTECCHIA, M. S.; GUTIERREZ-BOEM, F. H.; GOMEZ, F. M., & RUIZ, J. A.; *A novel Burkholderia ambifaria strain able to degrade the mycotoxin fusaric acid and to inhibit Fusarium spp. growth*. Microbiological research, v.206, p.50-59, 2018.

TABASSUM, B.; KHAN, A.; TARIGA, M.; RAMZAN, M.; SALEEM, M.; KHANA, I.; SHAHIDA, N.; AALIYAA, K.; *Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR*. Applied Soil Ecology, v.121, p.102-117, 2017.

TORTORA, M. L., DIAZ-RICCI, J. C. & PEDRAZA, R. O.; *Azospirillum brasilense siderophores with antifungal activity Against Colletotrichum acutatum*. Arch Microbiol, v.193, p.275-286, 2011.

UZMA, M.; IQBAL, A.; HASNAIN, S.; *Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing Pseudomonas aeruginosa in Vigna radiata*. Plos one, v.17, n.2, 2022.

WALUNJ, A. A.; ABHANG, P. B. AND JOHN, P.; *In vitro evaluation of mutant and wild strain of Trichoderma harzianum against soil borne plant pathogen*. International Journal of Plant Protection, v.8, p.108-111, 2015.

YE XIA, A. *et al.*; *Multi-stress tolerant PGPR Bacillus xiamenensis PM14 activating sugarcane (Saccharum officinarum L.) red rot disease resistance*. Plant Physiology and Biochemistry, v.151, p.640-649, 2020.

ZAHID, M.; ABBASI, M.K.; HAMEED S.; RAHIM, N.; *Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (Zea mays L.)*. Frontier Microbiol. v.6, p.207, 2015.

ZHANG, X. *et al.*; *Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria (Bacillus) regulates microbial interaction to improve phosphorus fractions mobilization during kitchen waste composting*. Bioresource Technology, v.340, p.125714, 2021.

