



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE
MESTRADO EM AGROECOLOGIA

MARIA FRANCISCA OLIVEIRA BORBA

MECANISMOS DE AÇÃO E BIOCONTROLE DE *Bacillus* spp. NA FUSARIOSE DO
ABACAXI

São Luís, MA

2024



MARIA FRANCISCA OLIVEIRA BORBA

Bióloga

**MECANISMOS DE AÇÃO E BIOCONTROLE DE *Bacillus* spp. NA FUSARIOSE DO
ABACAXI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Antônia Alice Costa Rodrigues

São Luís, MA

2024

Borba, Maria Francisca Oliveira

Mecanismos de ação e biocontrole de bacillus spp. na fusariose do abacaxi. / Maria Francisca Oliveira Borba. – São Luis, MA, 2024. 80 f

Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientadora: Profa. Dra. Antonia Alice Costa Rodrigues

1.Bacillus spp. 2.Mecanismos de ação. 3.Doenças fúngicas. 4.Biocontrole. I.Título.

CDU: 634.774

Elaborado por Cássia Diniz- CRB 13/910

MARIA FRANCISCA OLIVEIRA BORBA

MECANISMOS DE AÇÃO E BIOCONTROLE DE *Bacillus* spp. NA FUSARIOSE DO ABACAXI

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de mestre em Agroecologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Antônia Alice Costa Rodrigues.

Aprovada em: 27 de março de 2024

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
ANTONIA ALICE COSTA RODRIGUES
Data: 18/03/2025 18:20:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Antonia Alice Costa Rodrigues – (Orientadora)

Doutora em Fitopatologia - Micologia Universidade Estadual do Maranhão



Documento assinado digitalmente
CAMILA PINHEIRO NOBRE
Data: 18/03/2025 17:53:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Camila Pinheiro Nobre

Doutora em Agroecologia – Ciência do Solo Universidade Estadual do Maranhão

Prof.^o Dr. Diogo Herison Silva Sardinha

Doutor em Agroecologia – Fitotecnia e Fitossanidade Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Maranhão

A minha querida e amada mãe, Raimunda de Oliveira (*In memoriam*). Pelas palavras de incentivo, pela força e dedicação dada a mim. Aos meus filhos pela coragem que tiveram na minha ausência. Ao meu pai que sempre esteve presente na vida dos meus filhos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir cursar essa Pós-graduação, apesar da distância de casa.

A Professora Dra. Antonia Alice Costa Rodrigues, minha eterna gratidão por me aceitar como orientada. Sempre com seu carisma e conhecimento, quanto privilégio ter conhecido, vivenciado com sua pessoa que é um exemplo de ser humano, pois tenho verdadeira admiração.

A Professora Dra. Erlen Keila Candido e Silva, por todo apoio, orientações e paciência, muito obrigada.

Ao Dr. Leonardo De Jesus Machado Gois, por toda a calma, pelos ensinamentos diários no Laboratório de Fitopatologia- LABIFITO, muito obrigada.

Ao casal Mirlene e Glauber, pelo acolhimento.

Ao grupo de Pesquisadoras GB4, Keyla Diovana, Késia e Myrella Kethlen, agradeço a colaboração, trabalhos produzidos e por todos os momentos alegres e apoio.

Aos meus queridos filhos, e o meu pai que foram corajosos nesta caminhada. A minha família de Caxias - MA que sempre passou energia positiva.

As amigas Marlene Silva, Swyanne Sousa, Ducinete Mesquita, Silvana Silva, Suiplane Sousa, Maria da Conceição Rodrigues e Wellane Silva pelas palavras de conforto e apoio.

A Ricardo da Silva Carvalho, meu amigo de todas as horas, agradeço imensamente por tudo. A Edivana Ferreira de Sousa, a quem devo todo o início de minha trajetória acadêmica, sem aquela oportunidade eu não estaria aqui, neste momento único.

À Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e professores.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação, Rayanne, Neto e Nilson.

À FAPEMA, pela concessão da bolsa de estudos que, sem a qual, seria inviável minha estadia aqui em São Luís - MA.

OBRIGADA !!!

“Quanto mais me aprofundo na ciência, mais me aproximo de Deus.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A cultura do abacaxi *Ananas comosus* (L. Merr), desempenha função importante no cenário agrícola, no entanto, está propensa a entraves fitossanitários, como a doença fusariose. Uma alternativa de manejo para essa doença é através da aplicação de agentes bióticos, como uma estratégia de biocontrole dessa doença. O gênero *Bacillus* sp. é composto por bactérias Gram-positivas que apresentam potencial para implementar o controle biológico de fitopatógenos e estimular o crescimento vegetal. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os mecanismos de ação de isolados de *Bacillus* spp. e sua capacidade de promover o controle biológico de *Fusarium guttiforme* *in vitro* e *in vivo* em mudas de abacaxizeiro. O delineamento utilizado nesta pesquisa foi o DIC com 18 isolados de *Bacillus* spp. e um isolado de *F. guttiforme*. Nos testes *in vitro* os isolados foram avaliados quanto à: produção de ácido indolacético (AIA), ácido cianídrico (HCN), enzima catalase (CAT), solubilização de fosfato, formação de biofilme e efeito antagonico sobre o patógeno. Os ensaios *in vivo* consistiram em avaliações dos isolados bacterianos quanto ao antagonismo contra *F. guttiforme* em mudas de abacaxizeiro. As avaliações ocorreram em duas etapas, a primeira com vinte e um dias de inoculação (avaliação externa) a segunda aos trinta dias (avaliação interna). Todos os tratamentos de *Bacillus* spp. foram capazes de produzir AIA, enzima catalase, solubilizar fosfato e exibiram efeito antagonico sobre o fitopatógeno. Na formação de biofilme seis isolados foram capazes de produzir esse mecanismo e dezessete produziram HCN em condições de laboratório. Para os testes *in vivo* foram utilizadas mudas de abacaxizeiro tipo filhote entre 15 e 20 cm de altura das cultivares Turiaçu, Pérola e Turipaz. Nos resultados encontrados, a cultivar Turiaçu apresentou tolerância ao fitopatógeno em todas as avaliações. Os isolados MGSS 288 e 443 responderam melhor na redução da lesão para avaliação externa da cultivar pérola, na parte interna o isolado MGSS 444 apresentou um efeito positivo para inibir o crescimento da lesão. A variedade Turipaz na avaliação externa não apresentou diferença entre os tratamentos com *Bacillus* spp. e o tratamento controle, verificou-se na parte interna maiores proporções da lesão. Nesta avaliação, o isolado MGSS 445 obteve potencial para controlar o crescimento do fitopatógeno. As respostas desse estudo indicam o potencial de isolados de *Bacillus* spp. como produtores de mecanismos de ação e biocontrole. Sobretudo, configuram uma ferramenta viável de uso sustentável para reduzir o efeito deletério do fitopatógeno *F. guttiforme* nos sistemas produtivos de abacaxizeiro.

Palavras-chave: *Bacillus* spp.; Mecanismos de ação; Doenças fúngicas; Biocontrole.

ABSTRACT

The culture of *Ananas comosus* (L.Merr), plays an important role in the agricultural scenario, however it is prone to phytosanitary obstacles, such as fusariosis disease . An alternative management for this disease is through the application of biotic agents, which induce resistance in the plant. The genus *Bacillus* sp. It is composed of Gram-positive bacteria that have the potential to implement biological control of phytopathogens and stimulate plant growth. In this sense, the objective of this research was to evaluate the mechanisms of action of *Bacillus* spp. and its ability to promote biological control of *Fusarium guttiforme* in vitro and in vivo with pineapple seedlings. The design used in this research was the DIC with 18 isolates of *Bacillus* spp. and an isolate of *F. guttiforme* . In in vitro tests, the isolates were evaluated for: production of indoleacetic acid (IAA), hydrocyanic acid (HCN), catalase enzyme (CAT), phosphate solubilization, biofilm formation and antagonistic effect on the pathogen. The in vivo tests consisted of evaluations of bacterial isolates regarding antagonism against *F. guttiforme* in pineapple seedlings. The evaluations occurred in two stages, the first at twenty-one days of inoculation (external evaluation) and the second at thirty days (internal evaluation). All *Bacillus* spp. treatments were able to produce IAA, catalase enzyme, solubilize phosphate and exhibited an antagonistic effect on the phytopathogen . In the biofilm formation, six isolates were capable of producing this mechanism and seventeen produced HCN under laboratory conditions. For in vivo tests, pineapple seedlings between 15 and 20 cm tall of the cultivars Turiaçu, Pérola and Turipaz were used . In the results found, the Turiaçu cultivar showed tolerance to the phytopathogen in all evaluations. Isolates MGSS 288 and 443 responded better in reducing the lesion for external evaluation of the pearl cultivar, in the internal part the isolate MGSS 444 showed a positive effect to inhibit the growth of the lesion. The Turipaz variety in the external evaluation showed no difference between treatments with *Bacillus* spp. and the control treatment, greater proportions of the lesion were found in the internal part. In this evaluation, MGSS 445 had the potential to control the growth of the phytopathogen . The responses from this study indicate the potential of *Bacillus* spp. isolates. as producers of mechanisms of action and biocontrol , in this way, they constitute a viable tool for sustainable use to reduce the deleterious effect of the phytopathogen *F. guttiforme* in pineapple production systems

Keywords: *Bacillus* spp.; Mechanisms of action; Fungal diseases; Biocontrol.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 14 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 A cultura do abacaxi..... | 16 |
| 2.2.1 <i>A fusariose do abacaxi.....</i> | 17 |
| 2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) | 18 |
| 2.3.1 <i>Gênero Bacillus sp.</i> | 19 |
| 2.3.2 <i>Bacillus methylotrophicus spp.</i> | 20 |
| 2.3.3 <i>Bacillus amyloliquefaciens spp.</i> | 21 |
| 2.3.4 <i>Bacillus thuringiensis spp.</i> | 21 |
| 2.4 Mecanismos de ação de <i>Bacillus spp.</i> na promoção de crescimento de plantas..... | 22 |
| 2.4.1 <i>Ácido indol- 3-acético (AIA)</i> | 23 |
| 2.4.2 <i>Ácido cianídrico-HCN</i> | 24 |
| 2.4.3 <i>Solubilização de fosfato</i> | 24 |
| 2.4.4 <i>Formação de biofilme.....</i> | 25 |
| 2.4.5 <i>Enzima catalase-CAT (EC1. 11.1.6).....</i> | 26 |
| 2.4.6 <i>Controle Biológico por isolados de Bacillus spp.</i> | 27 |
| REFERÊNCIAS..... | 2 |
| CAPÍTULO II | 44 |
| POTENCIAL DOS MECANISMOS DE AÇÃO DE ISOLADOS DE <i>Bacillus spp.</i> SOBRE <i>Fusarium guttiforme</i> AGENTE DA FUSARIOSE DO ABACAXI..... | 45 |
| RESUMO | 45 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 46 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 47 |
| 2.1 Local do experimento e obtenção do patógeno e isolados de <i>Bacillus spp.</i>..... | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2 Caracterização de mecanismos de ação de isolados de <i>Bacillus</i> spp..... | 47 |
| 2.2.1 Produção de ácido indolacético (AIA)..... | 47 |
| 2.2.2 Produção de Ácido cianídrico (HNC)..... | 48 |
| 2.2.4 Solubilização de fosfato..... | 49 |
| 2.2.5 Formação de biofilme in vitro | 49 |
| 2.4 <i>Bacillus</i> spp. no controle da fusariose em mudas de abacaxizeiro..... | 50 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 52 |
| 3.2 Avaliação da produção de ácido cianídrico (HCN), e enzima catalase pelos isolados de <i>Bacillus</i> spp. | 53 |
| 3.3 Avaliação dos isolados de <i>Bacillus</i> spp. quanto a solubilização de fosfato..... | 55 |
| 3.4 Avaliação da formação de biofilme pelos isolados de <i>Bacillus</i> spp. | 57 |
| 3.6. <i>Bacillus</i> spp. no controle da fusariose em mudas de abacaxizeiro..... | 59 |
| 4 CONCLUSÕES..... | 64 |
| REFERÊNCIAS..... | 66 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 74 |
| ANEXOS..... | 75 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Avaliação da produção de ácido 3-indol -acético (AIA), produzidos por isolados de *Bacillus* spp. ($\mu\text{M}/\text{mL}$). As médias foram agrupadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade52
- Figura 2.** Avaliação da solubilização de fosfato inorgânico pelos isolados de *Bacillus* spp. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade56
- Figura 3.** Avaliação da quantificação de formação de biofilme pelos isolados de *Bacillus* spp. As médias foram agrupadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.57
- Figura 4.** Avaliação externa de mudas de abacaxi Pérola vinte e um dia de inoculação- *F. guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.61
- Figura 5.** Avaliação interna de mudas de abacaxi Pérola trinta dias de inoculação - *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.62
- Figura 6.** Avaliação externa de mudas de abacaxi Turipaz vinte e um dia de inoculado- *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.63
- Figura 7.** Avaliação interna de mudas de abacaxi Turipaz trinta dias de inoculação com *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.64

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Avaliação da produção de ácido cianídrico (HCN) e enzima catalase por isolados de *Bacillus* spp.54
- Tabela 2.** Efeito antagônico de isolados de *Bacillus* spp. contra *F. guttiforme* com oito dias de inoculação.58

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO



1 INTRODUÇÃO GERAL

O abacaxizeiro *Ananas comosus*(L.Merr) é uma planta pertencente ao gênero *Ananas* e à família Bromeliaceae. Todas as suas variedades são comestíveis, caracterizadas como herbáceas e perenes (Coppens D'eeckenbrugge; Leal, 2003; Ferreira *et al.*, 2011). Classificado como infrutescência das monocotiledôneas (Marin *et al.*, 2008), é originária da América do Sul e se adapta bem a climas tropicais e subtropicais. A fruta do abacaxizeiro é amplamente apreciada em várias partes do mundo devido ao seu aroma e sabor marcantes, além de oferecer um alto valor nutricional. Pode ser consumida tanto fresca, quanto industrializada (França-Santos *et al.*, 2009; Souza, 2011).

A cultura do abacaxi desempenha uma função importante no cenário agrícola mundial, sendo cultivado em mais de 60 países. Os principais produtores de abacaxi em milhões de toneladas, são as Filipinas (2,70), Costa Rica (2,62), Brasil (2,45), Indonésia (2,44), China (2,22), Tailândia (1,53) e Nigéria (1,50) (FAO, 2020). No Brasil é a sexta fruta mais cultivada, com destaque para as regiões Norte e Nordeste. No estado do Maranhão o município de maior produção é São Domingos do Maranhão (IBGE, 2022).

No entanto, toda essa demanda está propensa a entraves fitossanitários e dentre os de maior proporção na produção/produktividade da cultura estão as doenças causadas por fitopatógenos, como os fungos que podem estar presentes desde o início do cultivo do abacaxi até a pós-colheita, causando redução da qualidade e desenvolvimento dos frutos (Granada *et al.*, 2004; Stepien *et al.*, 2013; Berilli *et al.*, 2014; Matos, 2019).

A fusariose conhecida como gomose ou resinose é a doença de maior propagação no cultivo do abacaxizeiro, causada pelo agente etiológico *Fusarium guttiforme* Nirenberg e O'Donnell(Aquije *et al.*, 2010). Os principais sintomas apresentados nos frutos incluem descoloração, exsudação de goma, casca podre, a planta infectada apresenta folhas com podridão seca, exsudação de goma, necrose, clorose e curvatura do caule (Rohrbach; Schmitt, 1998). No intuito de reduzir o impacto da fusariose nos sistemas de produção algumas práticas culturais são adotadas pelos agricultores, como o uso de mudas saudáveis, inspeções periódicas, retirada de plantas doentes, e o principal, o controle químico através de pulverização de agroquímicos a partir dos 40 dias depois da indução floral, em seguida 15 dias posterior o fechamento por completo das flores (De Matos *et al.*, 2013).

A expansão do cultivo resultou no uso excessivo e contínuo de produtos químicos, como fertilizantes, pesticidas e herbicidas, em sistemas agrícolas. Essa prática tem gerado uma série de impactos negativos, que vão desde danos ambientais até problemas de saúde

paraagricultores e consumidores (Glick, 2014; Schutte *et al.*, 2017). Isso evidencia um dos principais desafios da agricultura moderna, que muitas vezes recorre a soluções imediatas e prontas para uso. Porém, é importante notar que no cenário agrícola brasileiro, há uma crescente tendência em direção à adoção de produtos biológicos. Esses produtos não apenas são ambientalmente mais sustentáveis, mas também são projetados de forma a não representar riscos para a saúde humana quando usados em sistemas de cultivo (Souza *et al.*, 2015).

Diante da necessidade de aplicar práticas mais sustentáveis nas áreas de cultivo, há uma corrente alinhada de pesquisas em diversas áreas do conhecimento, que visam explorar o potencial de microrganismos vivos, a base de formulações biológicas mediante pesquisas *in vitro* e *in vivo*, com o objetivo de aplicá-las no controle de fitopatógenos e pragas agrícolas (Glick, 2014). Nesse contexto, a utilização de microrganismos benéficos para promover o desenvolvimento das culturas, seja através da promoção de crescimento, seja através do controle biológico, não é uma prática nova. Dentre esses microrganismos, as bactérias se destacam devido à sua maior capacidade competitiva para colonizar o solo em comparação com outros microrganismos (Glick, 2012). Essa técnica promissora tem o potencial de aumentar a produtividade das culturas e melhorar a qualidade dos alimentos (Souza *et al.*, 2015).

Dentre estes microrganismos estão as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), organismos de vida livre que desencadeiam, direta ou indiretamente, uma série de processos metabólicos e fisiológicos nas plantas, contribuindo para seu crescimento. Entre as BPCPs, destacam-se as bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* spp., esse gênero foi descoberto em 1872 por Cohn e engloba uma vasta diversidade, compreendendo mais de 200 espécies e subespécies, apresentam forma de bastonete, são aeróbias e facultativamente anaeróbicas, gram-positivas, fisiologia hábil capaz de produzir endósporos, condição de resistência a ambientes divergentes, e estão presentes em diversos habitats (Miljaković; Marinković; Balešević-Tubić, 2020).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal e controle biológico atuam por meio de diversos mecanismos distintos. Estes incluem a fixação de nitrogênio atmosférico (Falkowski, 1997; Santi; Bogusz; Franche, 2013), a solubilização de minerais, como fósforo (Anand; Kumari; Mallick, 2016), a produção de sideróforos, moléculas capazes de solubilizar e capturar ferro, e ainda a síntese de reguladores de crescimento vegetal, como o AIA, que amplificam o desenvolvimento das plantas em múltiplos estágios de seu ciclo (Matsuda *et al.*, 2018). Pesquisas recentes têm evidenciado o potencial promissor da linhagem de *Bacillus* ssp. para estimular o crescimento vegetal e implementar o controle biológico. Isso se deve, em grande parte, à sua notável capacidade de produzir endósporos, estruturas celulares que oferecem

vantagens na gestão e na formação de colônias na região rizosférica. Além disso, essas bactérias demonstram eficiência quando utilizadas em conjunto com outras linhagens bacterianas (Bettiol *et al.*, 2012; Meena *et al.*, 2016).

A atividade biológica desempenhada por bactérias antagonicas em sistemas agrícolas proporciona um manejo adequado, sem prejuízos ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade nos cultivos e aumenta a produção e produtividade das culturas hospedeiras (Filippi *et al.*, 2011; Braga Junior, *et al.*, 2017).

O biocontrole da fusariose através do uso de *Bacillus* sp. antagonistas têm se mostrado uma alternativa viável dentro dos sistemas de cultivo (Maciel *et al.*, 2014). Considerando o aumento da procura por produtos alternativos que não causem danos ao ambiente e ao homem, o estudo dos mecanismos de ação de *Bacillus* spp. promotores de crescimento de planta e controle biológico torna-se importante para futuro desenvolvimento de bioprodutos, que promovam o crescimento de plantas e o biocontrole de doenças. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os mecanismos de ação de isolados de *Bacillus* spp. e sua capacidade de promover o controle biológico de *Fusarium guttiforme* *in vitro* e *in vivo* em mudas de abacaxi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do abacaxi

O abacaxizeiro *Ananas comosus* (L. Merr), é uma frutífera de cultivo exclusivo das zonas tropicais e subtropicais do hemisfério norte e sul, originário da América do sul. De porte monocotiledôneo, perene, herbácea, pertence à família das Bromeliáceas, infrutescência de conhecimento mundial como ananás, pineapple, piña, abacaxi (Ventura *et al.*, 1981; Marin *et al.*, 2008).

No Brasil o abacaxizeiro representa relevância no cenário socioeconômico, dispõe de uma área colhida de 64.174 ha, obteve uma produção de 1.558.201 toneladas de abacaxi, com uma média de 24.291 frutos/ha o cultivo ocorre em todas as regiões brasileiras, sendo Norte e Nordeste, as mais proeminentes em termos de produção (IBGE, 2022).

No estado do Maranhão, a relevância do cultivo de abacaxi é notável, com uma área colhida de 2.464 ha que resultou em uma produção expressiva de 56.687 toneladas da fruta. A média de 23.006 frutos/ha evidencia a eficiência do processo produtivo nessa região. Destacando-se entre os municípios maranhenses São Domingos do Maranhão, que lidera em produção, alcançando a marca de 50.474,00 milhões de abacaxis. Esta expressiva produção ocorreu em uma área plantada e colhida de 1.950 hectares, com uma média de 23.100 frutos/ha,

sendo o cultivar Pérola predominante nesse cenário. O segundo município em produção considerável é Turiaçu, que apresenta uma produtividade de 6.055 milhões de abacaxis. Com uma área plantada e colhida de 240 hectares, e média de 25.229 frutos/ha, com o cultivar Turiaçu prevalecendo nesse contexto. Os municípios de Graça Aranha, Tuntum e Lago dos Rodrigues também se destacam na produção de abacaxi, contribuindo para consolidar o Maranhão como um dos importantes polos produtores dessa fruta dentro da região Nordeste. As variedades cultivadas para fins comerciais dentro do Estado são Boituva, Imperial, Pérola e Turiaçu (IBGE, 2022)

2.2 Gênero *Fusarium*

O gênero *Fusarium* pertence ao filo *Ascomycota*, classe, ordem *Hypocreales* e família *Nectriaceae*. Descrito em 1808 por Link, este gênero compreende espécies de fungos filamentosos hialinos conhecidos por sua distribuição cosmopolita. Podem ser encontradas nos diversos ambientes, incluindo solo, raízes, parte aérea das plantas, em restos vegetais e outros substratos orgânicos (Nelson *et al.*, 1994; Lombard *et al.*, 2015). As espécies de *Fusarium* são reconhecidas por provocar diversas doenças em plantas de cultivo agrônômico, como a podridão da coroa, giberela, murcha vascular, podridão das raízes em uma ampla variedade de culturas hortícolas (Asem *et al.*, 2017).

O *Fusarium* não apenas pode desencadear diversas doenças em plantas, mas também representam uma ameaça para a saúde humana e animal devido à produção de micotoxinas, como fumonisinas, tricotecenos e zearalenona. Além disso, essas espécies de *Fusarium* têm o potencial de causar danos a produtos armazenados, incluindo cereais, arroz e diversas outras culturas (Nesvorna *et al.*, 2012). A espécie de *Fusarium guttiforme* é capaz de produzir microconídeos hialinos, os quais se destacam por apresentar células basais e apicais diferenciadas. Essas características distintivas desempenham um papel fundamental na taxonomia específica dessa espécie (Ventura; Zambolim, 2002).

2.2.1 A fusariose do abacaxi

O agente etiológico da fusariose no abacaxizeiro é o *Fusarium guttiforme* descrito por Nirenberg e O'Donnel, (1998), através da caracterização morfológica e filogenética. A doença foi publicada a nível mundial pela primeira vez na Argentina em 1954 por Rohrbach, (1994) e constatada no Brasil pela primeira vez em 1964, no estado de São Paulo, na variedade Smooth Cayenne, posteriormente no Rio de Janeiro e Minas Gerais, depois se dispersou para todas as regiões produtoras por meio de material propagativo infectado (Barbosa; Silva, 2006). A

fusariose denominada resinose fúngica ou gomose destaca-se como doença mais significativa e prejudicial ao abacaxizeiro de acordo com Souza *et al.* (2016), podendo ocasionar perdas substancial de 20% nas mudas e entre 30 e 40 % nos frutos, em alguns casos pode atingir os 100% da produção (Ventura *et al.*,2009; Matos *et al.*, 2011).

Em plantas hospedeiras assim como no abacaxizeiro, o *F. guttiforme* persiste nas folhas de maneira epífita, não produzindo clamidósporos, o que resulta em uma capacidade competitiva limitada do fitopatógeno (Alves, 2006). Porém, materiais propagativos contaminados e restos de cultura facilitam a sobrevivência desse fungo, servindo como principal fonte de inóculo inicial. A disseminação do *F. guttiforme* ocorre livremente por meio do vento, chuva, transporte de material propagativo infectado e ação de insetos (Barbosa e Silva, 2006).

Durante o estágio de evolução vegetativa, os sintomas se manifestam por meio de lesões no terço inferior do caule e nas folhas dessa área, com a infecção restrita à porção basal não clorofilada. Os tecidos na região clorofilada demonstram maior resistência conforme amadurecem. Após o desenvolvimento da lesão no caule, ocorre uma redução no fluxo da seiva, resultando em sintomas como clorose, murcha, enfezamento e eventual morte da planta. Além disso, a planta infectada também apresenta sintomas que incluem a redução no comprimento das folhas, morte do meristema apical, encurtamento e curvatura do caule, afunilamento da planta e, eventualmente, a morte (Ventura; Zambolim,2002; Joy;Sindhu,2012).

O desenvolvimento da fusariose pode acontecer em qualquer estágio fenológico e órgão da planta, entretanto o fruto é a parte de maior ocorrência dos sintomas e indícios. Os sintomas predominantes compreendem lesões no caule, infecções na porção aclorofilada e a exsudação de goma. Já nos frutos, os sintomas englobam descoloração que varia de marrom claro a escuro, casca ressecada, deterioração na região infectada e a exsudação de goma (Jacobs *et al.*,2010).

2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs)

A pesquisa e compreensão das bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) são cruciais para o desenvolvimento da agricultura sustentável. No solo, há uma ampla variedade de microrganismos coexistente, incluindo bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Dentre esses habitantes do solo, as bactérias se destacam como os mais abundantes (Glick, 2012). Vários estudos estão em processo para melhor entender as variedades e relevância das comunidades de solo-BPCPs, e seu papel no benefício nos vegetais. Contudo, o desempenho desses microrganismos está sujeito a uma série de fatores, incluindo condições ecológicas, espécies vegetais, idade da planta, estágio de desenvolvimento e, em particular, o

tipo de solo (Prasad *et al.*, 2019).

As BPCPs têm a capacidade de estimular o crescimento das plantas, ao mesmo tempo em que se beneficiam dos exsudatos radiculares, um processo essencial para a adaptação a diferentes ambientes, incluindo a regulação da interação planta-microrganismo na rizosfera (Ahemad; Kibret, 2014). Esses microrganismos utilizam diversos mecanismos para beneficiar as plantas, seja diretamente, por meio da fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios, ou indiretamente, através da produção de sideróforos e biofilmes (Singh *et al.*, 2017). A literatura científica relata vários gêneros de bactérias com a capacidade de promover o crescimento das plantas, aumentando a produtividade de grãos, a taxa de emergência de sementes, a biomassa vegetal e o rendimento da colheita. Esses gêneros incluem *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* e *Serratia* (Kang *et al.*, 2019).

Esses recursos biotecnológicos surgiram como práticas alternativas para substituição de fertilizantes processados industrialmente (Glick, 2012). Embora a interação entre plantas e microrganismos possa ser benéfica para as plantas hospedeiras, promovendo seu crescimento, ela também pode ser prejudicial, levando ao amensalismo e à redução do crescimento ou mesmo à morte da planta. Portanto, é essencial compreender as interações planta-microrganismo em sua totalidade, a fim de incentivar microrganismos benéficos ao crescimento das plantas e desenvolver estratégias de controle de patógeno (Hardoim *et al.*, 2015; Meena *et al.*, 2016). Essas interações podem ocorrer de várias maneiras, mas, de modo geral, formam um microbioma capaz de colonizar os três compartimentos da raiz separados: a rizosfera, rizoplano e endosfera, bem como os tecidos internos, incluindo a filosfera (Hardoim *et al.*, 2015).

2.3.1 Gênero *Bacillus* sp.

O gênero *Bacillus* é composto por bactérias Gram-positivas pertencentes ao domínio Bactéria, Filo Firmicutes, Classe Bacilli, Ordem Bacillales; Família Bacillaceae (Ciccarelli *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2009), apresentado em 1872 por Cohn e engloba mais de 200 espécies e subespécies descritas. Possuem forma de bastonete, são aeróbias e facultativamente anaeróbicas, fisiologia hábil capaz de produzir endósporos, condição de resistência a ambientes divergentes (Miljković; Marinković; Balešević-Tubić, 2020). As espécies de *Bacillus* são cosmopolitas em quase toda natureza, isolados dos mais diversos ambientes como água doce, água salgada, solo, plantas, animais e ar (Pignatelli *et al.*, 2009).

Santos *et al.* (2021), demonstraram que a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium* em solo de cultivo de aveia (*Avena sativa* L.), resultou em um aumento significativo no crescimento

e na qualidade nutritiva das plantas. De acordo com Olanrewaju; Glick; Babalalo (2017), a inoculação em milho (*Zea mays* L), com *B. subtilis* melhorou o crescimento e a produtividade. Diversas bactérias do gênero *Bacillus* têm sido estudadas para aplicação como biofertilizantes, biofungicidas e biopesticidas, por serem produtoras de endósporos, pois essa característica facilita seu manejo e inoculação em solos, além de possibilitar o cruzamento com outras linhagens bacterianas (Bettiol *et al.*, 2012; Meena *et al.*, 2016).

Em condições de formulação biológica, esses microrganismos têm a capacidade de modular a síntese de fitormônios, afetando o metabolismo da planta para se adaptar a diferentes condições ambientais (Meena *et al.*, 2016). As bactérias do gênero *Bacillus* spp. mitigam o estresse causado pelas condições ambientais quando agem como aceleradoras de crescimento, mediante a produção dos fitormônios, ácido indol-3- acético (AIA), giberalina, citocinina, ácido abscísico (ABA), bassinoesteróides, estrigolactonas e da enzima ACC deaminase (Bettiol *et al.*, 2012). A enzima ACC deaminase em concentrações elevadas reduz o etileno e conseqüentemente, diminui os efeitos do etileno na planta, clorose foliar e senescência (De Sousa; Ambrosini; Passaglia, 2015).

2.3.2 *Bacillus methylotrophicus* spp.

A espécie *Bacillus methylotrophicus* caracteriza-se como bactérias aeróbicas, móvel, que possui endósporos em forma de bastões, encontra-se na rizosfera e apresenta potencialidade de promoção de crescimento de planta. O grande interesse nessa espécie bacteriana consiste na sua interação benéfica com plantas principalmente para fins agrônômicos. Essa espécie produz bacteriocinas, antibiótico inibidor de microrganismos fitopatogênicos, possui a capacidade de biorremediar solos e age no controle de doenças causadas por patógenos, promovendo o controle biológico (Monnerat *et al.*, 2020).

Pesquisas realizadas por Sun *et al.*(2019), constataram que *B. methylotrophicus* pode impulsionar a desenvoltura das raízes de mudas de tomateiro, aumentar a mineralização de substratos de carbono orgânico e inorgânico, manter equilíbrio de substrato orgânico e aumentar a atividade enzimática do solo, com dose mais eficiente de 1,00 g/cepa. Em experimento semelhante Wang *et al.*(2020), verificaram que *B. methylotrophicus* restaurou o ambiente rizosférico de mudas de pepino e melão cultivadas em sacos de substratos orgânicos, além de promover melhor rendimento e qualidade dos frutos.

Dourado *et al.*(2020) observaram que a microbiolização de sementes de pimentão (*Capsicum annum* L.) com *B. methylotrophicus* controlou 100% dos fungos fitopatogênicos associados às sementes. Existem dois produtos registrados no Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento – MAPA (Agrofit, 2020) à base de *B. methylotrophicus*, ambos para controle de nematóides, o Onix® para controle de *Pratylenchus brachyurus* e Onix OG® para *Meloidogyne javanica*.

2.3.3 *Bacillus amyloliquefaciens* spp.

Bacillus amyloliquefaciens é uma bactéria móvel, que pode ser isolado de vários ambientes distintos, inclusive alimentos, plantas e solo, produzem dezenas de enzimas de interesse industrial, desenvolve uma gama de atividades microbiana, ao passo que pode ser usado no controle biológico de fungos, bactérias e nematoides (Monnerat *et al.*, 2020).

Estudos realizados com *B. amyloliquefaciens* comprovaram que são bons colonizadores do sistema radicular, promovem crescimento e alongam as raízes laterais, manejam com equilíbrio o estresse de plantas cultivadas, possuem capacidade de usar os compostos voláteis orgânicos (VOC), em diferentes interações em benefício da planta hospedeira (Asari *et al.*, 2016).

No Brasil encontram-se registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) formulações microbiológicas à base de *B. amyloliquefaciens* para fins de controle em fungos, oomicetos, bactérias e nematóides: Eficaz Nema® (bionematicida) AgTecmmon(biofungicida), Amanzi(biofungicida), AmitrixSC(biofungicida), Amylo-X SL/BaciloX(biofungicida/biobactericida),Bactel®(biofungicida),PFCControl®(bionematicida),AmiloTrop(bionematicida),AveoEZ/Streat(bionematicida),BioBalance(bioematicida),Nemacontrol®(biofungicida),Nonema®(bionematicida/biofungicida),Serifel/Duravel®(biofungicida/biobactericida), Ecoshot®(biofungicida), Quartzo®SC (biofungicida), (Agrofit,2024).

2.3.4 *Bacillus thuringiensis* spp.

Bacillus thuringiensis pertence ao grupo *B. cereus* e abrange várias espécies, no entanto, as mais estudadas são *B. cereus*, *B. thuringiensis* e *B. anthracis* (Liu *et al.*, 2015; Ehling-Schuez *et al.*, 019).

O *Bacillus thuringiensis* no momento de sua esporulação produz inclusões proteicas cristalinas conhecidas por δ -endotoxinas. Produz tipos diferentes de toxinas, as δ -endotoxinas, α -exotoxina, β -exotoxina, VIP (vegetative insecticidal proteins) e SIP (secreted insecticidal proteins). As mais conhecidas e usadas são as toxinas Cry, que estão no cristal produzido pela bactéria no decorrer da fase de esporulação. O processo de ação das toxinas Cry ocorre quando os insetos as ingerem. Os efeitos da intoxicação incluem diminuição do apetite e abandono do alimento, bem como comprometimento da função intestinal e ocorrência de vômitos

(Monnerat *et al.*, 2020).

Segundo os dados do MAPA- Agrofit, no Brasil há no mercado vinte e cinco produtos/formulações comerciais à base de *B. thuringiensis* para fins de controle de pragas agrícolas a saber: (Able), (Agree), (Bac-Control MaxEC), (Bac-ControlWP), (Bac-Control MaxWP), (BTControl), (BT-Turbo Max), (Costar), (Crystal), (Dipel), (Dipel ES-NT), (Dipel WG), (Dipel WP), (Helymax EC), (Helymax WP), (Javelin WG), (Ponto Final), (Stregga EC), (Super-Bt), (Tarik EC), (Tarik WP), (Thuricide), (Thuricide SC), (Winner Max EC) e (Xentari). Encontram-se duas cepas de *Bacillus thuringiensis* descritas na Especificação de Referência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), (Agrofit, 2020).

2.4 Mecanismos de ação de *Bacillus* spp. na promoção de crescimento de plantas

Diversos estudos demonstraram efeitos positivos de linhagens de *Bacillus* spp. no crescimento e na produtividade de culturas agrícolas expressivas no mercado, como milho (Batista *et al.*, 2018; Egamberdiyeva, 2007; Gond *et al.*, 2015), arroz, (Ashrafuzzaman *et al.*, 2009) soja (Ramesh *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2013), tomate (Mena-Violante *et al.*, 2007; Valenzuela-Soto *et al.*, 2010), trigo (Baig *et al.*, 2012; Upadhyay *et al.*, 2012) e canola (Zaidi *et al.*, 2006). Estes agem através de mecanismos de ação direta na fixação biológica de nitrogênio, síntese de sideróforos, produção de fitormônios, solubilização de fosfato e aceleração dos processos biológicos (Olanrewaju; Glick; Babalola, 2017).

Também são capazes de produzir endósporos, estrutura bacteriana produzida a partir da duplicação do DNA que proporciona resistência e aumenta a vida útil do bioproduto a base de microrganismos bacterianos vivos, elemento facilitador do manuseio, aplicação e composição a outras linhagens bacterianas (Freitas; Vildoso, 2004; Francis *et al.*, 2010; Bettiol *et al.*, 2012; Vejan *et al.*, 2016; Meena *et al.*, 2016).

As vantagens da inoculação de microrganismos vivos benéficos as plantas têm sido estudadas a mais de 120 anos, todavia, os frequentes avanços tecnológicos, principalmente nos últimos dez anos até a atualidade, deram oportunidade aos pesquisadores ao longo desse processo de entender a dinâmica estrutural e funcionalidade desses microrganismos, a ponto de elaborar ferramentas estratégicas para então explorar todo o potencial dos mecanismos de ação desses microrganismos (Batista; Singh, 2021).

Para Oliveira *et al.* (2003), e Gomes *et al.* (2016), os fatores associados no desenvolvimento dos mecanismos de ação indireta inclui, a indução de resistência nos vegetais, diminuição de fatores causais de estresse abióticos ou bióticos, entre eles a produção de etileno endógeno, antagonismo a patógenos, produção de antibióticos, produção de sideróforos, entre

outros fatores. A ação dos microrganismos poderá ocorrer por diferentes modos de ação, como por exemplo competição, liberação de compostos voláteis, estimulação de alterações citoquímicas ou interações entre mecanismos.

2.4.1 *Ácido indol- 3-acético (AIA)*

O fitormônio ácido indol-3-acético (AIA), é conhecido desde o século XIX, foi citado pela primeira vez por Charles e Francis Darwin (Darwin; Darwin, 1880), o AIA bacteriano é capaz de modificar o *pool* da planta em benefício próprio (Glick, 2012).

A auxina é um fitormônio heterogêneo de moléculas sinalizadora de ácido carboxílico que tem a função de regular os processos fisiológicos das plantas (Park *et al.*, 2017). O ácido-3- indol-acético pertence ao grupo das auxinas, molécula sinalizadora primordial para a interação planta- microrganismo que age diretamente no crescimento da planta (Matsuda *et al.*, 2018). Embora este seja um hormônio elaborado pelas plantas, tanto bactérias endofíticas quanto rizobactérias em sua maioria produzem e sintetizam AIA. A produção deste fitormônio, por bactérias presta grande contribuição para o crescimento e produção das plantas (Wagi; Ahmed, 2019). Isolados de *Bacillus* spp. BM16 e CPM04 demonstraram capacidade de promover crescimento expressivo nos porta-enxerto citrumelo Swibgle, limão cravo e tangerina Sunki (Giassi *et al.*, 2016).

O nível de auxina das plantas é alterado mediante a produção do AIA pelas bactérias o que interfere no seu desenvolvimento da planta, pois induz o crescimento de caule e raiz por alongamento celular e são responsáveis também pela emissão das raízes laterais (Iqbal; Wgi; Ahmed, 2018). Experimentos conduzidos com plantas de algodão tratados com *B. amyloliquefaciens* tiveram crescimento das raízes, mesmo sob condições de estresse salino (Irizarry; Whit, 2017).

As bactérias possuem duas vias bem caracterizadas para sintetizar o fitormônio ácido-3- indol-acético- AIA. A via do indol-3-acetamida (IAM) e a via do indol-3-piruvato (IPyA), o aminoácido responsável por esta síntese é o triptofano(L-trp). A primeira via converte o triptofano através da monooxigenase de triptofano, em seguida, o AIA é elaborado por uma hidrolase de indol-3-acetonitril a(IAN) a via do indol-3-piruvato (IPyA) identificada principalmente em bactérias benéficas. Nesta via o triptofano é transaminado para IpyA m sequência é descarboxilado a indol-3-acetaldeído, sendo oxidado a AIA, por um aldeído oxidase/desidrogenase (Bulgarelli *et al.*, 2013).

2.4.2 *Ácido cianídrico-HCN*

A produção de ácido cianídrico (HCN), por bactérias promotoras de crescimento de plantas, é um mecanismo de ação associado ao controle biológico (Défago *et al.*, 1990). Diversos estudos corroboram a eficácia do HCN no contexto do controle biológico, evidenciado o controle da podridão negra do tomateiro, da raiz do tabaco causada pela sucessão dos nematóides *Meloidogyne javanica* e *Thielaviopsis basicota*, o biocontrole do cupim subterrâneo *Odontotermes obesus*, afetando sistemas agrícolas e florestais na Índia (Siddiqui, 2006; Devi *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2014; Dotaniya *et al.*, 2016).

O ácido cianídrico (HCN) é um secundário do metabolismo de vários microrganismos, porém, organismos com sensibilidade a este hormônio podem ser afetado por meio da síntese de ATP, ocasionada pelo citocromo oxidase (Srinivasan *et al.*, 2012). Por isso, os microrganismos produtores de HCN podem ser vistos como agentes etiológicos à cultura alvo se influenciar de forma negativa, ao afetar a saúde da planta, mas podem ser benéficos, resultando na supressão do fitopatógeno. O fato disso acontecer se dá pelas características ambíguas, que podem estar associadas tanto as bactérias antagonicas quanto as deletérias (Ma *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2016).

2.4.3 *Solubilização de fosfato*

O fósforo é o segundo elemento indispensável para as plantas, depois do nitrogênio, pelo fato de exercer função em quase todos os processos metabólitos das plantas a exemplo da fotossíntese, respiração, transferência de energias, biossíntese de macromoléculas e transdução de sinais. Apesar de estar presente em partes expressivas de solos cultiváveis, de ambientes tropicais e subtropicais, a maior parte se encontra indisponível nas formas orgânicas e inorgânicas, para as plantas o absorverem (Sharma *et al.*, 2013). Logo, há necessidade de se introduzir fósforo nas lavouras, mas, uma proporção elevada de fósforo é fixada no solo, por causa da formação de ligações entre moléculas de fósforo com cálcio e magnésio, nos solos alcalinos, e com ferro e alumínio, em solos ácidos (Sharma; Kumar; Tripahi, 2011).

Fertilizantes fosfatados aplicados em excesso podem causar problemas ambientais, basicamente, por erosão e lixiviação (Zeng; Wu; Wen, 2016). Atualmente, microrganismos solubilizadores de fosfato, vem sendo apresentado como alternativa viável aos fertilizantes fosfatados minerais, em destaque, algumas bactérias do gênero *Bacillus* (Almoneafy *et al.*, 2014). Diversas pesquisas têm sido guiadas com o propósito de selecionar bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico (Batista *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020). Descrições na

literatura revelam as bactérias promotoras de crescimento como capazes de produzir enzimas (fosfatase ácidas) e ácidos orgânicos, capazes de viabilizar o fosfato pouco solúvel que estão associados a compostos como Fe e a matéria orgânica (Olanrewaju; Glick; Babalola, 2017).

2.4.4 Formação de biofilme

Os biofilmes bacterianos são agregados multicelulares dinâmicos, bem estruturados e ligados entre si, podem aderir a substrato biótico ou abiótico submerso numa matriz heterogênea, formada sobretudo de substância extracelular polímera (EPS), associados a proteínas, lipídios e ocasionalmente DNA extracelular (Mariano; Sousa, 2016). A descrição teórica de biofilmes surgiu em 1675, por Antony Van Leeuwenhoek, porém, apenas em 1978 foi promulgada a existência de biofilmes de uma forma geral (Costerton; Geesey; Cheng, 1978). Partindo desse princípio estudos têm revelado que células da maior parte das bactérias não cresce como células individuais, mas em comunidade ligadas entre si, presentes em quase todos os ecossistemas naturais e patogênicos (López; Vlamakis; Koltc, 2010).

A aderência das células planctônicas a superfícies abiótica ou biótica é o primeiro estágio na formação de biofilme, adesão primária entre bactéria /superfície abiótica decorre mediada por interatividade físico-química não específica, mas aleatório, ao passo que aderência em superfícies bióticas é auxiliada por interações moleculares mediadas por ligações específicas receptor/ligante (Dunne, 2002). Após adesão das células planctônicas ocorre aumento na produção, liberação, detecção de moléculas reguladoras da formação de biofilme, tais moléculas autoindutoras se acumulam, induzem a transcrição de genes específicos, regulando várias funções como motilidade, virulência, produção de matriz exopolissacarídica (EPS) e formação de biofilme (Bjarnsholt; Givskov, 2007; Hodgkinson; Welch; Sprin, 2007).

A relevância da dinâmica das substâncias poliméricas extracelulares (EPS), ao contribuir para a desintoxicação ambiental, permite acúmulo de nutrientes do ambiente; possibilita digestão de macromoléculas exógenas para aquisição de nutrientes; viabiliza transferência horizontal de genes entre células do biofilme; doa e recebe elétrons; promove turnover metabólico; equilibra excesso de carbono sob proporções de carbono para nitrogênio. Em geral os EPS, configuram uma parcela atuante do reservatório de carbono reduzido em solos, sedimentos e agregados suspensos em oceanos e água doce, exercem papel nutricional na ecologia microbiana (Flamming; Wingender, 2010)

O processo de desenvolvimento biofilme perfaz os seguintes estágios sequenciados em nove ciclos: (I) Aderência da células planctônicas a superfície biótica ou abiótica, por intermédio das forças van der Waals, em meio aquoso; (II) Formação de microcolônias e

produção de EPS, matriz polimérica, aderência mitocondrial; (III) Maturação; (IV) Biofilmes maduros desenvolvidos, compostos por canais de elevações e excreções de fluxo de nutrientes; (V) Liberação celular, colonização sequenciada na superfície; (VI) Sinalização de moléculas célula/célula quórum sensing; (VII) Transporte de substrato para dentro do biofilme; (VIII) Metabolismo celular ligados ao biofilme, transporte de produtos para fora do biofilme; (IX) Remoção do biofilme por deslocamento ou desagregação (Nattress, 2014).

Durante o processo de simbiose as bactérias associadas às plantas estabelecem interações com as superfícies do tecido da planta hospedeira. Uma característica recorrente nessa interação é a colonização superficial, na qual os microrganismos aderem aos tecidos vegetais externos e internos, manifestando-se tanto como células individuais quanto em grupos. A estrutura do biofilme resultante é fortemente influenciada pela superfície do tecido da planta, pela disponibilidade de nutrientes e água, bem como pelas características das estirpes colonizadoras (Ramey *et al.*, 2004).

Estudos relatam que espécies de *Pseudomonas* spp. e *Bacillus* spp. têm a capacidade de colonizar tanto as folhas das plantas quanto a superfície das raízes formando biofilmes (Ude, 2006). Os biofilmes microbianos são proeminentes em diversos ambientes e apresentam uma ampla distribuição. As bactérias do solo ocupam ambientes que vão desde as rizosferas, caracterizadas por ricos nutrientes e exsudatos radiculares, até solos carentes de nitrogênio, fosfatos, água e outros nutrientes essenciais. O tamanho dos agregados bacterianos varia consideravelmente, indo de pequenos a grandes, dependendo da disponibilidade de nutrientes no local específico (Van de Mortel; Halverson, 2004)

Os processos de autoagregação e desenvolvimento do biofilme exercem um papel chave tanto na sobrevivência bacteriana quanto na colonização da planta hospedeira. Diversos fatores, como ambientais, genéticos e estruturais, exercem influência sobre a adesão bacteriana, as interações célula-célula e a colonização vegetal. Essas interações, por sua vez, contribuem para as complexas relações planta-bactéria (Bogino *et al.*, 2013).

2.4.5 Enzima catalase-CAT (EC1. 11.1.6)

As enzimas catalases pertencem à família oxidoredutase encontradas nos três domínios da vida (Archaea, Bactéria e Eukarya) (Czyzewska; Trusek, 2018). As catalases são divididas em três classes de acordo com suas estruturas físicas e bioquímicas, a classe 1 e 2 possuem heme catalase, sítio ativo configurado por porfirinas de ferro molecular, já a terceira classe contém manganês no sítio ativo ao invés de ferro, também conhecida como pseudocatalases, essa terceira classe de catalase é menos encontrada entre os procariotos, e possui massa

molecular 170-210 kDa (Zeng *et al.*, 2011; Sooch *et al.*, 2014; Shaeer *et al.*, 2019).

A classe 1 (monofuncionais) são onipresentes em plantas, animais e microrganismos, bem distribuídas e caracterizadas, de acordo com a espécie sua estrutura modifica quanto ao número e identidade de domínio, possui massa molecular 200-340 kDa. A classe 2 (bifuncional) formada por catalase-peroxidase contém heme estrutura proteica constituída por uma parte orgânica e outra de um átomo de ferro (II), que exerce atividade de catalase e peroxidase. Não está presente em plantas e animais, mas encontra-se em bactérias aeróbicas, possui massa molecular 120-340 kDa (Sooch *et al.*, 2014; Hansberg, 2022).

Os microrganismos bacterianos realizam um papel chave na mitigação dos efeitos adversos causados pelas espécies reativas de oxigênio (ERO) e pelo estresse oxidativo. Esses inoculantes como *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. promovem uma resposta antioxidante amplificada, contribuindo para a redução dos danos celulares. Dentre os antioxidantes induzidos, destacam-se a catalase (CAT), a superóxido dismutase (SOD), a ascorbato peroxidase (AsA), a glutathione (GSH), os carotenóides, os tocoferóis e os fenólicos (Gouda *et al.*, 2018; Arora *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2021). A ação combinada desses nutrientes fortalece a resistência das plantas, atenuando os impactos negativos do ambiente e promovendo um desenvolvimento mais saudável (Gouda *et al.*, 2018).

A principal reação da enzima catalase é catalisar a decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água e oxigênio molecular, uma única molécula de catalase pode decompor milhões de moléculas de H_2O_2 (Sooch *et al.*, 2014). Nos vegetais a enzima catalase estabelece um dos principais elementos enzimáticos no processo de remoção H_2O_2 elaborado durante processo de fotorrespiração e β -oxidação de ácidos graxos, atua nos peroxissomos, citosol e glioxissomos, pode ser encontrada nas mitocôndrias transformando H_2O_2 em moléculas inócuas (água e oxigênio) (Dubey, 2011). A catalase age de forma indireta na destoxificação dos superóxidos ao decompor H_2O_2 , assim, neutraliza a ação tóxica do peróxido de hidrogênio executando uma ação importante contra estresses oxidativos nas células vegetativas (Dubey, 2011; Dinakar *et al.*, 2012).

2.4.6 Controle Biológico por isolados de *Bacillus* spp.

O uso em larga escala de produtos químicos para manejo agrícola na tentativa de coibir a ação de vetores e agentes etiológicos nos sistemas agrários, ao longo dos anos aumentaram os riscos à saúde do produtor/consumidor, devido a fitotoxidade, efeitos residuais e poluição, além de causar desequilíbrio ecológico. Dentre as estratégias utilizadas no combate de fitopatógenos em plantas, estão os defensivos químicos de cobre. No entanto este método

tradicional desencadeou, mecanismos de resistência nas populações patogênicas (Cazorla *et al.*, 2002) que além de degradar grandes áreas de solo cultiváveis, de modo irreversível, provoca declínio no rendimento das culturas (Rai *et al.*, 2020).

Neste ensejo agente biocontroladores sempre serão alternativas executáveis no controle de doenças de plantas (Vinodkumar *et al.*, 2017). Em experimentos de biocontrole, Costa *et al.* (2022), constataram que isolados de *B. methylotrophicus* e *B. amyloliquefaciens* microbiolizados em sementes de cultivares alface ‘Americana Delícia’ e ‘Grandes Lagos Americana’ promoveram 100% de controle de fungos associados a sementes. Estudos revelaram que antagonistas costumam usar mais de um mecanismo de defesa, em geral, os agentes de biocontrole são altamente específicos para um patógeno, portanto, são considerados inofensivos a espécies não-alvo. Entretanto, entender a dinâmica desenvolvida por eles é necessário para implantar um programa de controle biológico eficaz (Weller, 2007; Hofté, Altier, 2010; Nunes, 2012).

Na perspectiva de desenvolver tecnologias alternativas o controle biológico surge no formato equilibrado, um caminho viável para o desenvolvimento sustentável dos sistemas agrícolas. A prática dessa estratégia biotecnológica com agentes biocontroladores vem ganhando espaços no combate de fitopatógenos, a relevância agrícola e econômica desses agentes biológicos na fitossanidade se deve a habilidade de produzir antibióticos e enzimas líticas, desta forma os agentes de controle biológico contém mecanismos de ação entre eles enzimas, fitormônios para controlar ou até mesmo impedir doenças através da inoculação de um agente biológico, como fungo, bactéria, bacteriófago na planta ou solo (Mercado-Blanco; Bakker, 2007; Weller, 2007; Hofté; Altier, 2010; Biessy; Filion, 2018).

Entre as doenças causadas por fitopatógenos, a fusariose ocasionada pelo *F. guttiformen* mostra-se notória devido aos impasses na produção, em decorrência, limita a expansão da cultura. Embora o Brasil se destaque como um dos principais produtores e consumidores de abacaxi, enfrenta grandes desafios para controlar e principalmente sanar esta doença (Berilli, 2014; Noronha; Matos; Sanches, 2015; Noronha *et al.*, 2016).

Entretanto pesquisas evidenciam resultados eficazes no controle biológico da fusariose por inseticida a base de *Bacillus thuringiensis* Berliner, capaz de inibir o crescimento fúngico através dos metabólitos secundários (Noronha *et al.*, 2016)

Mediante pesquisa conduzida com *Bacillus* spp., é possível constatar uma ação antagonica no controle efetivo do *Fusarium sambucinum*, responsável por causar danos significativos em plântulas de *Pinus elliottii* (Maciel *et al.*, 2014). Ainda de acordo com os autores, a eficácia demonstrada por *B. subtilis* em atividades *in vitro* está relacionada à sua

habilidade intrínseca de produzir antibióticos, tais como *iturina A* e *sufactina*, substâncias essas capazes de inibir o crescimento micelial de fungos.

A aplicação de *Bacillus subtilis* demonstrou eficácia no controle de *F. oxysporum* em *Cicer arietinum* L. (grão-de-bico) em condições *in vivo*, conforme Moradi *et al.* (2012). Além disso (Morsy *et al.*, 2009; Khalil, 2019), evidenciaram sua efetividade no manejo de *Fusarium solani* em tomate, tanto em condições *in vitro* quanto *in vivo*.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. **Agrofit**: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. 2020. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 15 ju. 2023.

AGROFIT. **Agrofit**: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 7 mar. de 2024.

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King Saud University - Science**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014. DOI [org/10.1016/j.jksus.2013.05.001](https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001)>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-king-saud-university-science>. Acesso 4 mai. de 2023.

ALVES, G. A. R. **Sobrevivência de *Fusarium subglutinans* f. sp. ananás em solos de diferentes procedências e incorporação de matéria orgânica**. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado em agronomia, área de concentração Biologia) – Universidade Rural da Amazônia, Belém, 2006.

ALMONEAFY, A. A. *et al.* Tomato plant growth promotion and antibacterial related mechanisms of four rhizobacterial *Bacillus* strains against *Ralstonia solanacearum*. **Symbiosis**, v. 63, n. 2, p. 59–70, 2014. DOI <https://doi.org/10.1007/s13199-014-0288-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-014-0288-9#citeas>. Acesso em: 12 jul. de 2023.

AQUIJE, G.M.F. V. *et al.* Cell wall alterations in the leaves of fusariosis resistant and susceptible pineapple cultivars. **Plant Cell Reports**, v.29, p.1109–1117, 2010. DOI [10.1007/s00299-010-0894-9](https://doi.org/10.1007/s00299-010-0894-9). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20607243/>. Acesso em: 12 nov. de 2023

ANAND, K; KUMARI, B; MALLICK, M. A. Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as biofertilizers. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 37–40, 2016. Disponível em: <https://innovareacademics.in/journals/index.php/ijpps/article/view/9747>>. Acesso em: 4 jul. de 2023.

ARORA, N. K. *et al.*. Microbe-based inoculants: role in next green revolution. In Environmental concerns and sustainable development. Springer **Singapore**, p. 191-246, 2020. DOI https://doi.org/10.1007/978-981-13-6358-0_9. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-6358-0_9#citeas. Acesso em: 11 nov. de 2023.

ASARI, S. *et al.* Multiple effects of *Bacillus amyloliquefaciens* volatile compounds: plant growth promotion and growth inhibition of phytopathogens. **FEMS Microbiol Ecology**, v.92, n.6, Jan. 2016. DOI [10.1093/femsec/fiw070](https://doi.org/10.1093/femsec/fiw070). Disponível em: <https://academic.oup.com/femsec/article/92/6/fiw070/2470055>. Acesso em: 12 jul. 2023.

ASAM, S; HABLER, K. E; RYCHLIK, M. Fusarium Mycotoxins in Food. Science Direct, (Second Edition). 2017. E-book. p.295-336. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00014-X>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978008100674000014X?via%3Dihub>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ASHRAFUZZAMAN, M *et al.* Efficiency of plant growth promoting Rizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. **African Journal of Biotechnology**, V.8, n.7, p.1247-1252, 2009. Disponível em: https://academicjournals.org/article/article1379928361_Ashrafuzzaman%20et%20al.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

BARBOSA, A.G; SILVA, R.L.X. Doenças do abacaxi. In: OLIVEIRA, S.M., TERAPO, D.; DANTAS, S. A. F.; TAVARES, S.C.C.H.(Eds.). Patologia pós-colheita: frutas, oleícolas e ornamentais tropicais. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, p.495-513, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/157688>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BAIG, K. S. *et al.* Comparative effectiveness of *Bacillus* spp. possessing either dual or single growth- promoting traits for improving phosphorus uptake, growth and yield for wheat (*Triticum aestivum* L.). **Annals of microbiology**, v.62, n.3, p.1109-1119, Set. 2012. DOI 10.1007/s13213-011-0352-0. Disponível em: <https://annalsmicrobiology.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13213-011-0352-0>. Acesso em: 14 out. 2023.

BJARNSHOLT, T; GIVSKOV, M. The role of quorum sensing in the pathogenicity of the cunning aggressor *Pseudomonas aeruginosa*. *Anal Bioanal Chem*, v. 387, p. 409-414, Jan. 2007. DOI 10.1007/s00216-006-0774-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-006-0774-x#citeas>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BATISTA, B. D. *et al.* Screening of tropically derived, multi-trait plant growth- promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. **Microbiological Research**, [S.L.], v. 206, p. 33-42, 2018. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.09.007>:33–42. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501317309229>. Acesso em: 29 maio. 2023.

BATISTA, B. D.; SINGH, B. K. Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. **Microb Biotechnol** 14: 1258–1268. Jul. 2021. DOI <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13866>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34156754/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

BRAGA JUNIOR, G. M. *et al.* Controle biológico de fitopatógenos por *Bacillus subtilis* in vitro. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 7, n. 3, p. 45-51, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v7n3p45-51>. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/233921686.pdf>. Acesso em: 23 set. 2023.

BERILLI, S.S. *et al.* Avaliação da qualidade de frutos de quatro genótipos de abacaxi para consumo in natura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.2, p. 503-508, Jun. 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-2945-100/13>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/278324817_Avaliacao_da_qualidade_de_frutos_de_quatro_genotipos_de_abacaxi_para_consumo_in_natura . Acesso em: 12 nov.2023.

BETTIOL, W. *et al.* Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de planta. Jaguariúna, SP: **Embrapa - Boletim de Pesquisa e desenvolvimento**, v.1, p.155, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/930378/produtos-comerciais-a-base-de-agentes-de-biocontrole-de-doencas-de-plantas>. Acesso em: 24 mai.2023.

BIESSY, A; FILION, M. Phenazines in plant-beneficial *Pseudomonas* spp.: biosynthesis, regulation, function and genomics. **Eviron Microbiol**, v.20, p. 3905-39-17, 2018. DOI <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14395>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30159978/>. Acesso em: 24 maio 2023.

BOGINO, P.C. *et al.* The Role of Bacterial Biofilms and Surface Components in Plant-Bacterial Associations. **Molecular Sciences**, v.14, n.8, p.15838-15859, Jul. 2013. DOI <https://doi.org/10.3390/ijms140815838>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3759889/>. Acesso em: 20 out.2023.

BULGARELLI, D. *et al.* Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annu Rev Plant Biol*, [S.L.], v. 64, n. 1, p. 807-838, Jan.2013. DOI<<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>> . Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23373698/>. Acesso em: 12 maio.2023.

COSTA, N. J. F. *et al.* Tratamento térmico e biológico de sementes de alface no controle de fungos fitopatogênicos. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 7, n. 2, Abr. 2022. Doi: 10.48017/dj.v7i2.2072. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/2072. Acesso em: 15 jul. 2023

CAZORLA, F.M. *et al.* Copper resistance in *Pseudomonas syringae* strains isolated from mango is encoded mainly by plasmids . **Phytopathology** v.92, n.8, p.909–916, Agos. 2002. DOI <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.8.909>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18942971/>. Acesso em: 23 out.3023.

COSTERTON, J.W; GEESEY, G.G; CHENG, K.J. How bacteria stick. **Scientific American**, v. 238, p. 86-95, Jan.1978. DOI 10.1038/scientificamerican0178-86. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/635520/>. Acesso em: 12 jul.2023.

COPPENS D'EECKENBRUGGE, G; LEAL, F. **Morphology, Anatomy and Taxonomy**. In: BARTHOLOMEW, D. P., PAULL, R. E., ROHRBACH, K. G. The pineapple: botany, production and uses. Bartholomew, D.P., Paull, R.E., Rohrbach, K.G. (Eds). Wallingford, UK: CABI Publishing. 2003. p. 301. Disponível em: <https://biotanz.landcareresearch.co.nz/references/87719584-790e-4bce-bbdb-bb5215a38777>. Acesso em: 23 out.2023.

CICCARELLI, F. D *et al.* Towards automatic reconstruction of a highly resolved tree of life. **Science**, V.331, p.1283-1287, Mar. 2006. DOI 10.1126/science.1123061. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16513982/>. Acesso em: 12 jun.2023.

CZYZEWSKA, K; TRUSEK, A. Encapsulated catalase from *Serratia* genus for H₂O₂ decomposition in food applications. **Polish Journal of Chemical Technology**, v. 20, n. 4, p.

39–43, Dez.2018. DOI 10.2478/pjct-2018-0052. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/329520480_Encapsulated_catalase_from_Serratia_genus_for_H2O2_decomposition_in_food_applications. Acesso em: 15 jul.2023.

DARWIN, CH; DARWIN, F. **The Power of Movement in Plant**, London,1880. DOI:
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511693670>. Disponível em:
<https://www.cambridge.org/core/books/power-of-movement-in-plants/9B9B104AB3638E43936A34F1FB73E393>. Acesso em: 12 jun.2023.

DÉFAGO, G. et al. Suppression of Black Root Rot of Tobacco and Other Root Diseases by Strains of *Pseudomonas fluorescens*. Potential Applications and Mechanisms. In: Biological control of soil-borne plant pathogens. **CAB International**, p. 93–108, 1990. Disponível em:
<https://archive-ouverte.unige.ch/unige:152877>. Acesso em: 15 jul.2023.

DEVI, B.S.R. *et al.* Influence of potassium nitrate on the level of antioxidants and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.59, n. 3, p.318-325, Maio.2012. DOI 10.1134/s1021443712030041. Disponível em:
www.researchgate.net/publication/257848734_Influence_of_potassium_nitrate_on_antioxidant_level_and_secondary_metabolite_genes_under_cold_stress_in_Panax_ginseng. Acesso em: 12 jun.2023.

DE SOUZA, R.; AMBROSINI, A; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v. 38, n. 4, p. 401–419, Nov. 2015. DOI 10.1590/S1415-475738420150053. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26537605/>. Acesso em: 12 jul.2023.

DINAKAR, C; DJILIANOV, D; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, Fev. 2012. DOI 10.1016/j.plantsci.2011.01.018. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22118613/>. Acesso em: 16 jul.2023.

DOURADO, G.F. *et al.* Alternative seed treatment methods for plant pathogen control in sweet pepper crops. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.15, n.3, 2020. DOI
<https://doi.org/10.5039/agraria.v15i3a8420>
 .Disponível em: <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v15i3a8420>. Acesso em 15 jul. 2022.

DOTANIYA, M.L *et al.* **Potassium uptake by cultures as well as microorganisms**. In: Meena, V.S; Maurya, B.R; Verma, J.P, ;Meena, R.S. Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture. Índia, Springer, Jun.2016. E-book.p. 267-280. DOI:10.1007/978-81-322-2776-2_19. Acesso em: 12 jun.2023.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. **Enfield: Science Publishers**, 2011. E-book. Chap.9, 178-203.p. DOI.
<https://doi.org/10.1201/9781439854082>. Acesso em: 24 set.2023

DUNNE JR., W.M. Bacterial adhesion: seen any good biofilms lately? **Clinical Microbiology Reviews**, v. 15, p. 155-166, Abr.2002. DOI <https://doi.org/10.1128/cmr.15.2.155-166.2002>
 .Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/cmr.15.2.155-166.2002>. Acesso em: 12 jul.2023.

EGAMBERDIYEVA, D. The effect of plant growth promoting bacteria maize in two different soils. **Applied Soil Ecology**, v.36.n.2-3,p.184-189,Jun.2007.DOI

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.02.005>. Disponível em: Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139307000455?via%3Dihub>.
 Acesso em: 25 jul.2023.

EHLING-SCHULZ, M.; D. LERECLUS; AND T. M. KOEHLER, 2019 The *Bacillus cereus* group: *Bacillus* species with pathogenic potential. **Microbiol Spectr**, v. 7,n,3, Maio.2019.DOI <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0032-2018>. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31111815/>. Acesso em: 5 agos.2023

FAO. **Major tropical fruits market review february 2020 snapshot 2020**. 5p. Disponível:
<http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/tropical-fruits/en/>. Acesso 23
 dez.2023 Acesso em: 18 abr. 2021.

FALKOWSKI, P. G. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. **Nature**, v. 387, p. 272–274, 1997.DOI <https://doi.org/10.1038/387272a0>. Disponível em:
<https://www.nature.com/articles/387272a0>. Acesso em: 14 set.2023.

FRANCIS, I.; HOLSTERS, M.; VEREECKE, D. The gram-positive side of plant microbe interactions. **Environmental Microbiology**, v. 12,n.1,p.1-12,Jan.2010.DOI <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.01989.x>. Disponível em: <https://enviromicro-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1462-2920.2009.01989.x>. Acesso em. 13 jun.2023.

FRANÇA-SANTOS, A. *et al.* Estudos bioquímicos da enzima bromelina do *Ananas comosus* (abacaxi). **Scientia Plena**, v.5, n.11,Nov.2009. Disponível em:
<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/749> .Acesso em: 17jul.2023.

FERREIRA, I. C. P. V. **Estudo epidemiológico, fatores abióticos e químicos sobre *Fusarium guttiforme***. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2011. Disponível em:
https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-8P2EJJ/1/izabel_cristina.pdf. Acesso em: 04 nov.2023.

FLEMMING, H.C; WINGENDER, J. The biofilm matrix. **Nat Rev Microbiol**, v. 8, p.623–633,Agost. 2010. DOI <https://doi.org/10.1038/nrmicro2415>. Disponível em:
<https://www.nature.com/articles/nrmicro2415> .Acesso em: 12 jul.2023.

FREITAS, S.S; AGUILAR-VILDOSO, C.I. Rizobactérias e promoção do crescimento de plantas cítricas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**,v.28,n.6,p.987-994,Dez.2004. DOI 10.1590/s0100-06832004000600007. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4y5kcjkJggcptkmwJw5DRVH/?lang=pt>. Acesso em: 26jul.2023.

FILIPPI, M. C. C *et al.* Leaf blast (*Magnaporthe oryzae*) suppression and growth promotion by rhizobacteria on aerobic rice in Brazil. **Biological Control**, v.58, p.160-166,Agost. 2011.DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.04.016>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964411001009?via%3Dihub>. Acesso em: 16 agos.2023.

GRANADA. G. G; ZAMBIAZI.R. C; MENDONÇA.C. R. B. Abacaxi: Produção, mercado e subprodutos, B. **CEPBPA**, v.22, n.2, p.405-422, 2004. DOI10.5380/cep.v22i2.1203. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/1203>. Acesso em: 25 nov.2023

GIASSI, V; KIRITANI, C; KUPPER, K. C. Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. **Microbiological Research**, v. 190, p. 46–54, Maio.2016. DOI 10.1016/j.micres.2015.12.006. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27393998/>. Acesso em: 29 dez.2023.

GOMES, E. A *et al.* Microorganismos Promotores do Crescimento de Plantas Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Milho e Sorgo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 1, p. 51, 2016. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161283/1/doc-208.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2023.

GOND, S. K *et al.* Endophytic *Bacillus* spp. produce antifungal lipopeptides and induce host defence gene expression in maize. **Microbiological research**, n.172, p.79-87, Nov.2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.micres.2014.11.004>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25497916/>. Acesso em: 13 jul.2023.

GOUDA, S *et al.* Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological research**, n.206, p.131–140, Jan.2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29146250/>. Acesso em: 11 nov.2023.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 15, Set. 2012. DOI 10.6064/2012/963401. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24278762/>. Acesso em: 12 maio. 2023.

GLICK, B.R. Bactérias with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological Research**, v.169, p.30-39, Jan.2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094450131300150X>. Acesso em: 12 jul.2023.

HARDOIM, P. R. *et al.* The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. **Microbiology and**

HANSBERG, W. Monofunctional Heme-Catalase. **Antioxidants**, v.11, p.11, Out.2022. DOI <https://doi.org/10.3390/antiox11112173>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/11/2173>. Acesso em: 28 dez.2023.

HODGKINSON, J.T; WELCH, M; SPRING, D.R. Learning the language of bacteria. **ACS Chemical Biology**, v. 2, p. 715-717, Nov. 2007. DOI 10.1021/cb700227k. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18030987/>. Acesso em: 23 out. 2023.

HARDOI:M, P. R *et al.* The Hidden World within Plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, [S.L.], v. 79, n. 3, p. 293-320, 2015. DOI 10.1128/MMBR.00050-14. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26136581/>. Acesso em: 12 maio. 2023.

HOFTE, M, ALTIER, N. Fluorescent pseudomonas as biocontrol agents for sustainable agricultural systems. **Res.Microbiol**, v161, p.464-471,2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.04.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923250810000896>. Acesso em: 12 jul.2023.

IRIZARRY, I; WHITE, J.F. Application of bacteria from non-cultivated plants to promote growth, alter root architecture and alleviate salt stress of cotton. **Journal of Applied**

Microbiology, Albuquerque, v.16, p.1364-5072, 2017. DOI 10.1111/jam.13414. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28176460/>. Acesso em: 12 jul.2023.

IQBAL, M; WAGI, S; AHMED, A. Phyllospheric Bacterial Treatments Improve Growth in *Helianthus annuus* L. **RADS Journal of Biological Research & Applied Sciences**, v. 9, n. 1, p. 30–40, 2018. Disponível em: <https://jbas.juw.edu.pk/index.php/JBAS/article/view/133/111>. Acesso em: 12 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – **SIDRA**. Produção agrícola municipal.2022. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso 02 nov.2023

JACOBS, A *et al.* *Fusarium ananatum* sp. nov. in the *Gibberella fujikuroi* species complex from pineapples with fruit rot in South Africa. **Fungal biology**, v.114, p. 515-527, 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.03.013>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20943163/>. Acesso em: 04 nov.2023.

JOY, P.P; SINDHU, G. Diseases of pineapple (*Ananas comosus*): Pathogen, symptoms, infection, spread & management. Vazhakulam: Pineapple. **Research Station**, p.14,2012. Disponível em: https://kau.in/sites/default/files/documents/diseases_of_pineapple.pdf. Acesso em: 03 nov.2023

KANG,S.M *et al.* Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. **Journal of Plant Interactions**, v.14, p.416–423, 2019. DOI10.1080/17429145.2019.1640294. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2019.1640294>. Acesso em: 29 maio 2022.

KHALIL, MOHAMED E. Efficiency of *Trichoderma viride* and *Bacillus subtilis* as biocontrol agents against root rot caused by *Fusarium solani* in tomato. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, v. 97, n. 3, p. 507-516, 2019. DOI:10.21608/ejar.2019.151891. Disponível em: https://ejar.journals.ekb.eg/article_151891.html. Acesso em: 12 out.2023.

KUMAR, A; KUMAR, A; PRATUSH, A. Molecular diversity and functional variability of environmental isolates of *Bacillus* species. **Springer Plus**, v. 3 ,n.312, p.2–11, 2014.DOI 10.1186/2193-1801-3-312. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25279279/>. Acesso em: 12 jul.2023.

LI, M *et al.* Brassinosteroid Ameliorates Zinc Oxide Nanoparticles-Induced Oxidative Stress by Improving Antioxidant Potential and Redox Homeostasis in Tomato Seedling. **Frontiers in Plant Science**, v.7,2016. DOI <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00615>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4860460/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

LIU, Y *et al.* Genomic insights into the taxonomic status of the *Bacillus cereus* group **Scientific Reports**, v.16, n.5, p.14082,2015. DOI 10.1038/srep14082 .Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26373441/>. Acesso em: 5 agos.2023.

LOMBARD, L *et al.* Generic concepts in Nectriaceae. **Studies in Mycology**, v. 80, p.189 –

245, 2015. DOI 10.1016/j.simyco.2014.12.002. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166061614000542>, Acesso em: 23 nov. 2023.

LÓPEZ, D; VLAMAKIS, H; KOLTER, R. Biofilms. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 2, p. 1-11, 2010. DOI 10.1101/cshperspect. a000398. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20519345/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

LOPES, M. J. S *et al.* Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, 2021. DOI 10.33448/rsd-v10i12.20585. Disponível em:<
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20585>>. Acesso em: 15 jul. 2023

MA, Y. *et al.* Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. **Environ Manage**, v.1, n.174, p.14-25, 2016. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.02.047. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479716300883>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MACIEL, C. G. *et al.* Antagonismo de *Trichoderma* spp. e *Bacillus subtilis* (UFV3918) a *Fusarium sambucinum* em *Pinus elliottii engelm.* **Revista Árvore**, v.38,n.3, p.505-512, 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300013>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rarv/a/HSqhCTxLzXtZyPghj6QmMYJ/?format=pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023

MARIANO, R.L. R; SOUZA, B.E. **Manual de Práticas em Fitopatologia**. 3ed. Recife: Edufrpe, 2016. 205.p

MARIN, J. O. B *et al.* Panorama geral da produção de abacaxi e comportamento sazonal dos preços do Abacaxi “Pérola” comercializados em Goiás. **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural 16**. Rio Branco, AC, 2008. Disponível em:
<http://www.sober.org.br/palestra/9/550.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

MATOS, A. P; JUNGHANS, D. T; SPIRONELLO, A. Variedades de abacaxi resistentes à fusariose. In: Semana Internacional da Fruticultura e Agroindústria, Fortaleza, CE. 2011.

Anais. Fortaleza: Frutal, 2011. Disponível em
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/902513>. Acesso 05 nov. 2023.

MATOS, A.P. Main pests affecting pineapple plantations and their impact on crop development. **Acta Horticulturae**, v.1239, p.137-146, 2019. DOI 10.17660/ActaHortic.2019.1239.17. Disponível em:
https://www.actahort.org/books/1239/1239_17.htm. Acesso em: 05 nov. 2023.

MATSUDA, R. *et al.* Production of indoleacetic acid by strains of the epiphytic bacteria *Neptunomonas* spp. isolated from the red alga *Pyropia yezoensis* and the seagrass *Zostera marina*. **Archives of Microbiology**, v. 200, n. 2, p. 255–265, 2018. DOI 10.1007/s00203-017-1439-1. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29018895/>. Acesso em: 12 set. 2023.

MORSY, E. M. *et al.* Efficiency of *Trichoderma viride* and *Bacillus subtilis* as biocontrol agents

against *Fusarium solani* on tomato plants. **Egyptian Journal of Phytopathology**, v.37, n.1, p.47-57, 2009. DOI 10.21608/ejar.2019.111021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285226234_Efficiency_of_Trichoderma_viride_and_Bacillus_subtilis_as_biocontrol_agents_against_Fusarium_solani_on_tomato_plants. Acesso em: 28 nov.2023.

MORADI, H. *et al.* Suppression of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Fusarium wilt by *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum*. **Plant Omics Journal**, v.5, n.2, p.68-74, 2012. Disponível em: [https://www.semanticscholar.org/paper/Suppression-of-chickpea-\(%27Cicer-arietinum%27-L.\)-wilt-Moradi-Bahramnejad/dd5d178c781dcb56463af367c49c71a6a840fb2c](https://www.semanticscholar.org/paper/Suppression-of-chickpea-(%27Cicer-arietinum%27-L.)-wilt-Moradi-Bahramnejad/dd5d178c781dcb56463af367c49c71a6a840fb2c). Acesso 29 dez.2023

MILJAKOVIĆ, D; MARINKOVIĆ, J; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The significance of *Bacillus* spp. In disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. **Microorganisms**, v. 8, n. 7, p. 1–19, 2020. DOI <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32668676/>. Acesso em: 15 set.2023.

MEENA, V.S *et al.* Can *Bacillus* Species Enhance Nutrient Availability in Agricultural Soils?. In *Bacilli* and Agrobiotechnology. **Springer**, p.367-395, 2016. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_16. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-44409-3_16. Acesso em: 12 set.2023.

MERCADO-BLANCO, J; BAKKER. Interactions between plants and *Pseudomonas* spp. benefits: exploiting bacterial traits for crop protection. **Antonie Van Leeuwen** .v.92, p.67–389, 2007. DOI <https://doi.org/10.1007/s10482-007-9167-1>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17588129/>. Acesso em: 13 set.2023.

MENA-VIOLANTE, H.G.; OLALDE-PORTUGAL, V. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plantgrowth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. **Scientia Horticulture**, v.113, n.1, p.103-106, 2007. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423807000593?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set.2023.

MONNERAT, R., *et al.* Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos**, v.1, p.8-12, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122563/manual-de-producao-e-controle-de-qualidade-de-produtos-biologicos-a-base-de-bacterias-do-genero-bacillus-para-uso-na-agricultura>. Acesso 24 jul. 2023.

NATTRESS, F.M. Biofilm formation. In: *Encyclopedia of Meat Sciences*, p.64-70, 2014. DOI 10.1016/B978-0-12-384731-7.00231-2. Acesso em: 12 jul.2023.

NELSON, P. E.; DIGNANI, M. C.; ANAISSIE, E. J. Taxonomy, biology, and clinical aspects of fusarium species. **Clinical Microbiology Reviews**, Washington, DC, v. 7, n. 4, p. 479-504, Oct. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1128/cmr.7.4.479>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/cmr.7.4.479>. Acesso em: 28 ago. 2023

NESVORNÁ, M; GABRIELOVÁ, L; HUBERT, J. Suitability of a range of *Fusarium* species to sustain populations of three stored product mite species (Acari: Astigmata). **Journal of Stored Products Research**, 48, 37-45,2012. DOI 10.1016/J.JSPR.2011.08.006 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X11000828>. Acesso em: 23 nov.2023.

NIRENBERG, Helgard I.; O'DONNELL, Kerry. New *Fusarium* species and combinations within the *Gibberella fujikuroi* species complex. **Mycologia**, v. 90, n. 3, p. 434-458, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1998.12026929> . Disponível em:<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00275514.1998.12026929>. Acesso em: 22 set. 2023

NORONHA, A. C. S., MATOS, A. P., SANCHES, N. F. **Manejo integrado de pragas e doenças do abacaxi**. Simpósio brasileiro da cultura do abacaxi, 6, 2015. Conceição do Araguaia. Belém, PA: SEDAP, 2015. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1028854>. Acesso em: 22 de out. 2023.

NORONHA, A. C. S. *et al.* Abacaxi. In: SILVA, N. M. da ADAIME,R ;ZUCCHI, R. A. (ed.). **Pragas agrícolas e florestais na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. cap. 1, p.23-43.

NUNES, C.A. Biological control of postharvest diseases of fruit. **EUR. J. Plant Pathol**,V.133, p.181–196,2012.DOI <https://Doi.org/10.1007/s10658-011-9919-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-011-9919-7#citeas>. Acesso em: 13 set.2023.

OLANREWAJU, O. S; GLICK, B.R.; BABALOLA, O.O. Mechanisms of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.33, n.11, p.197,2017. DOI 10.1007/s11274-017-2364-9. Disponível em: <https://europemc.org/article/med/28986676>. Acesso em:13 set.2023.

OLIVEIRA, A. L. M. DE; URQUIAGA, S; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. **EMBRAPA -SPI**, p. 40, 2003. Disponível em:<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/624875>. Acesso em:24set.2023.

PARK, S. H. *et al.* Adventitious root formation of in vitro peach shoots is regulated by auxin and ethylene. **Scientia Horticulturae**, v. 226, n. June, p. 250–260, 2017.DOI: <https://Doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.053> .Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423817305319?via%3Dihub>. Acesso em:12 jul.2023.

PRASAD, M *et al.* Plant rowth Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Sustainable Agriculture: **Science Direct**,v.1,p.129-157,2019 . DOI.10.1016/B978-0-12-815879-1.00007-0. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128158791000070?via%3Dihub>. Acesso em:14 set.2023.

PIGNATELLI, M; MOYA, A; TAMAMES, J. EnvDB, a database for describing the environmental distribution of prokaryotic taxa.**Environmental microbiology** , V,1,n,3,p.191-

197,2009. Doi:10.1111/j.1758-2229.2009.00030.x. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23765793/>. Acesso em: 13 set.2023.

RAI, P. K *et al.* Role and potential applications of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agriculture. Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives. **Elsevier**, p.49-60,2020. DOI10.1016/b978-0-12-820526-6.00004-xi. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012820526600004X?via%3Dihub>
 Acesso em: 13 set.2023

RAMEY, B.E *et al.* Biofilm formation in plant–microbe associations. **Current opinion in microbiology**, v.7, n.6, p.602-609, 2004. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mib.2004.10.014>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369527404001389?via%3Dihub>.
 Acesso em: 06 nov.2023.

RAMESH, A *et al.* Inoculation of zinc solubilizing *Bacillus aryabattai* strains for improved growth, mobilization and biofortification of zinc in soybean and wheat cultivated in Vertisols of central India. **Applied Soil Ecology**, n.73, p.87-96, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.009>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139313002126>. Acesso em: 13 set.2023.

ROHRBACH, K.G; SCHMITT, D. **Fusariosis**. In: Compendium of Tropical Disease. Ploetz, R.C., Zentmeyer, G.A., Nishijima, W.T., Rohrbach, K.G, Ohr, H.D. The American Phytopathological Society, p. 49, 1998.

ROHRBACH K.G. **Fusariosis**. In: Ploetz, R.C; Zentmeyer, G.A; Nishijima, W.T; Rohrbach, K.G; Ohr, H.D. Compendium of Tropical Fruit Diseases. The American Phytopathological Society Horticulture, v.60, n.1-2 p.174-176, 1994.

SANTOS, A. F. *et al.* Biometrics and nutritional status of white oat (*Avena sativa* L.) culture under *Bacillus subtilis* and *B. megaterium* inoculation. **Research, Society and Development**, v.10, n.5, 2021. DOI <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15270>. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15270>. Acesso em: 26 nov.2023.

SANTI, C; BOGUSZ, D; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Annals of Botany**, v. 111, n. 5, p. 743–767, 2013. DOI <https://doi.org/10.1093/aob/mct048>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/111/5/743/193622>. Acesso em: 23 maio 2023.

SOUZA, F.V.D. **A nova face do melhoramento genético de abacaxi na Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Artigo em Hipertexto. 2011. Disponível em:
http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/abacaxi/index.htm. Acesso em: 26 out. 2023

DE SOUZA, R. *et al.* The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on the growth of rice (*Oryza sativa* L.) cropped in southern Brazilian fields. **Plant and Soil**, v.366, p. 585-603, 2013. DOI <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1430-1>. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1430-1#citeas>. Acesso em: 5 agos.2023.

SOUZA, F.V.D. A nova face do melhoramento genético de abacaxi na Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2011. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/artigo-a-nova-face-do-melhoramento-genetico-de-abacaxi-na-embrapa-mandioca-e-fruticultura>. Acesso em: 23 set.2023.

SOUZA, R. DE; AMBROSINI, A; PASSAGLIA, L.M.P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils, **Genet Mol Biol.**, Dec..38, p.401– 19, 2015. DOI 10.1590/S1415-475738420150053. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26537605/>. Acesso em:7agos.2023.

SOUZA, J.T.; TROCOLI, R.O; MONTEIRO, F.P. Plants from the Caatinga Biome Harbor Endophytic Trichoderma Species Active in the Biocontrol of Pineapple Fusariosis. **Biological Control**, v.94, p.25–32,2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964415300633?via%3Dihub>. Acesso em:07 nov.2023.

SHAEER, A; ASLAM, M; RASHID, N. A highly stable manganese catalase from *Geobacillus thermopakistaniensis*: **molecular cloning and characterization. Extremophiles**, v. 23, n. 6, p. 707-718, 2019. DOI 10.1007/s00792-019-01124-5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00792-019-01124-5>. Acesso em:15 de jul .2023.

SHARMA, S; KUMAR, V; TRIPATHI, R. B. Isolation of Phosphate Solubilizing Microorganism (PSMs) From Soil. **Microbiol. Biotech. Res**, v. 1, n. 2, p. 90– 95, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267368923_Isolation_of_Phosphate_Solubilizing_Microorganism_PSMs_From_Soil. Acesso em:13 set.2023.

SHARMA, S. K; RAMESH, A; JOHRI, B.N. Isolation and characterization of plant growth-promoting *Bacillus amyloliquefaciens* strain sks_bnj_1 and its influence on rhizosphere soil Properties and nutrition of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **J Virol Microbiol**, v.1, p.19,2013. DOI 10.5171/2013.446006. Disponível em: <https://ibimapublishing.com/articles/JVM/2013/446006/>. Acesso em:12 set.2023.

STEPIEN, L; KOCZYK, G; WASKIEWICZ, A. Diversity of Fusarium species and Mycotoxins Contaminating Pineapple. **Journal Applied Genetics**, v,54, p.367–380, 2013. DOI 10.1007/s13353-013-0146-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13353-013-0146-0>. Acesso em: 25 nov.2023.

SIDDIQUI, Z.A. **PGPR: Prospective biocontrol agents for plant pathogens**. Índia: Springer ,2006. E-book.p.112-142. DOI 10.1007/1-4020-4152-7_4. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-4152-7_4.. Acesso em:12 jul.2023.

SINGH, S; SINGH, V; PAL, K. Importance of microorganisms in agriculture. **Climate and Environmental changes: Impact, Challenges and Solutions**, v. 1, p.93-117, 2017. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=Importance+of+microorganisms+in+agriculture.+Climate+and+Environmental+changes:+Impact,+Challenges+and+Solutions&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar. Acesso em:27 de maio de 2023.

SRINIVASAN, S; AVADHANI, N. G. Cytochrome c oxidase dysfunction in oxidative stress. **Free Radic. Biol. Med.** 53, 1252–126, 2012. DOI

<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.07.021>. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3436951/>. Acesso em: 15 jul. 2023.

SOOCH, B. S; KAULDHAR, B. S; PURI, M. Recent insights into microbial catalases:

Isolation, production and purification. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 8, p. 1429–1447, 2014. DOI 10.1016/j.biotechadv.2014.09.003. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25261851/>. Acesso em: 15 jul.2023.

SCHÜTTE, G. *et al.* Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. **Environmental Sciences Europe**, [sl], v.29, no.1, p.5, 2017. DOI <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0100-y>. Disponível em: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-016-0100-y>. Acesso em: 16 de jul.2023.

SUN, D. *et al* Effect of media and fermentation conditions on surfactin and iturin homologues produced by *Bacillus natto* NT-6: LC–MS analysis. **AMB Express**, v. 9, n.120, 2019. DOI 10.1186/s13568-019-0845-y. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6661063/>. Acesso em: 5 agos.2023.

UDE, S; ARNOLD, D. L; MOON, C. D; TIMMS-WILSON, T.; SPIERS, A. J. Biofilm formation and cellulose expression among diverse environmental *Pseudomonas* isolates.

Environmental microbiology, v. 8, n.11, p. 1997–2011, 2006. DOI

<https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01080.x>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17014498/>. Acesso em: 29 out.2023.

UPADHYAY, S. K *et al.* Impact of PGPR on growth and antioxidante status of wheat under saline conditions. **Plant Biology**, v.14, n.4, p.605-611, 2012. DOI

<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2011.00533.x>. Disponível em:

<https://europepmc.org/article/MED/22136617/1000> , Acesso em: 14 set.2023.

VAN DE MORTEL, M; HALVERSON, L.J. Cell envelope components contributing to

biofilm growth and survival of *Pseudomonas putida* in low-water-content habitats. **Molecular Microbiology**, v.52, n.3, p.735-750, 2004. DOI 10.1111/j.1365-2958.2004.04008. x. PMID:

15101980. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2958.2004.04008.x> . Acesso em: 27 out.2023.

VALENZUELA-SOTO, J.H *et al.* Inoculation of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with Grow-promoting *Bacillus subtilis* retards whitefly *Bemisia tabaci* development. **Planta**, v.231, n.2, p.397, 2010. DOI 10.1007/s00425-009-1061-9. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20041333/>. Acesso em: 23 set.2023.

VEJAN, P *et al.* Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural Sustainability-A Review. **Molecules**, v.21, n.5, p.573, 2016. DOI 10.3390/molecules21050573. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27136521/>. Acesso em: 14 set.2023.

VENTURA, J; MAFIA, L.A; CHAVES, G.M. **Field induction of fusariosis in pineapple**

frutis wiht *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans* Wr & Reg. *Frutis*, v. 36. n.11. p.707-710, 1981.

VENTURA, J. A; ZAMBOLIM, L. Controle das doenças do abacaxizeiro. *In: ZAMBOLIM, L. et al. (Ed.). Controle de doenças de plantas fruteiras.* Voçosa, MG:UFV.2002.445-510.p Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312656770_Controlde_das_doencas_do_abacaxizeiro . Acesso em: 07 nov.2023.

VENTURA, J.A; CABRAL, J.R.S; MATOS, A.P. ‘Vitória’: new pineapple cultivar resistant to fusariosis. *Acta Horticulturae*, v.822, p.51-55, 2009. DOI 10.17660/ActaHortic.2009.822.4. Disponível em: https://www.actahort.org/books/822/822_4.htm. Acesso em: 13 nov.2023.

VINODKUMAR, S *et al.* Tobacco streak virus: an emerging threat to cotton cultivation in India. *Phytoparasitica*, v.45, p.729–743,2017. DOI <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0621-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-017-0621-y> .Acesso em: 12 set.2023.

WANG, Y. Y. *et al.* Identification of phosphate-solubilizing microorganisms and determination of their phosphate-solubilizing activity and growth-promoting capability. *BioResources*, v. 15, n. 2, p. 2560–2578, 2020. DOI 10.15376/biores.15.2.2560-2578. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20203191209>. Acesso em: 14 set.2023.

WAGI, S; AHMED, A. Bacillus spp: potent microfactories of bacterial IAA. *PeerJ* 7:e7258. Microbiology. 2019. DOI <https://doi.org/10.7717/peerj.7258>. Disponível em: <https://peerj.com/articles/7258/>. Acesso em: 12 out.2023.

WELLER, D.M. Pseudomonas biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. *Fitopatol*, V.97, p.250-256, 2007. DOI: 10.1094/PHYTO-97-2-0250. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18944383/>. Acesso em: 14 set.2023.

WU. D *et al.* A phylogeny-driven genomic encyclopaedia of Bacteria and Archaea. *Nature*, v. 462, p.1056–1060,2009. DOI <https://doi.org/10.1038/nature08656>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature08656>. Acesso em: 16 jul.2023.

ZAIDI, S *et al.* Significance of Bacillus subtilis strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in Brassica juncea. *Chemosphere*, v.64, n. 6, p.991-997,2006. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.057>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653506000476?via%3Dihub>. Acesso em: out.2023.

ZENG, H.W *et al.* Production, characterization, cloning and sequence analysis of a monofunctional catalase from Serratia marcescens SYBC08. *Journal of Basic Microbiology*, v. 51, n. 2, p. 205–214, 2011. DOI 10.1002/jobm.201000147. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21077118/> .Acesso em: 15 de jul.2023.



CAPÍTULO II

POTENCIAL DOS MECANISMOS DE AÇÃO DE ISOLADOS DE *BACILLUS* SPP. SOBRE *FUSARIUM GUTTIFORME*, AGENTE DA FUSARIOSE DO ABACAXI

Artigo escrito de acordo com as normas da revista “Biocontrol Science and Technology”

POTENCIAL DOS MECANISMOS DE AÇÃO DE ISOLADOS DE *Bacillus* spp. SOBRE *Fusarium guttiforme* AGENTE DA FUSARIOSE DO ABACAXI

¹Maria Francisca Oliveira Borba; Antônia Alice Costa Rodrigues¹Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade. CCA/UEMA.

RESUMO

O abacaxi, *Ananas comosus* (L. Merr), destaca-se como fonte significativa de renda para os produtores rurais e alternativa sustentável para os agroecossistemas. O objetivo desse estudo foi caracterizar os mecanismos de ação de isolados de *Bacillus* spp. e avaliar o potencial destes na redução do crescimento micelial de *Fusarium guttiforme* -MGSS 68 e no controle biológico da fusariose em mudas de abacaxi. Foram testados 18 isolados de *Bacillus* spp. para realizar a caracterização dos mecanismos de ação no controle biológico de *F. guttiforme* em mudas de cultivares de abacaxi (Turiaçu, Turipaz e Pérola). O delineamento foi em DIC com 18 tratamentos e cinco repetições. Nos resultados dos testes *in vitro* todos os isolados de *Bacillus* spp. avaliados produziram AIA, enzima catalase, solubilizaram fósforo e demonstraram capacidade antagônica sobre *F. guttiforme* em condições de laboratório, dezessete isolados produziram o ácido cianídrico, dois isolados apresentaram maior índice de solubilização do fósforo e outros dois maior capacidade de formação de biofilme. A variedade Turiaçu se mostrou tolerante ao *F. guttiforme*. A avaliação das lesões externas em mudas de abacaxi Pérola mostrou que todos os tratamentos controlaram a doença e internamente apenas o tratamento com isolado MGSS 444 apresentou efeito significativo. A avaliação externa das lesões de mudas de abacaxi Turipaz mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos e internamente apenas os isolados MGSS (293 e 445) foram efetivos no controle do patógeno. Os isolados de *Bacillus* spp. demonstram potencial promissor como produtores de mecanismos de ação, oferecendo uma alternativa viável e sustentável para o manejo do *F. guttiforme* nos sistemas produtivos de abacaxi.

Palavras chaves: *Bacillus* spp. Biocontrole. *Ananas comosus*. Agricultura sustentável.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a fruticultura se firmou como uma das principais atividades agrícolas, desempenhando um importante papel como fonte econômica para as áreas rurais e exercendo forte influência nos setores social e econômico (Lara *et al.*, 2021). Dentre as frutíferas cultivadas na agricultura nacional o abacaxizeiro tem forte influência, na dinâmica de produção/produktividade, sendo a quinta fruta mais cultivada nas regiões Norte e Nordeste com maior produtividade (IBGE, 2022). Toda essa produção encontra-se suscetível a ataques de fitopatógenos causadores de doenças dentro e fora dos sistemas de cultivo. Entre as principais doenças de relevância econômica para a abacaxicultura, a fusariose causada pelo fungo *Fusarium guttiforme*, proporciona elevadas perdas (Reinhardt; Cunha, 1999; Silva, 2007; Sousa *et al.*, 2017).

O controle químico está entre os métodos mais adotados para o manejo da doença, no entanto, causa danos ao homem e ao ambiente (Singh *et al.*, 2017). Portanto é importante adotar práticas sustentáveis no manejo da doença dentre as quais o controle biológico emerge como um dos mais promissores. Conforme Silva *et al.* (2008), dentre os gêneros de bactérias mais estudados para controle biológico, destacam-se *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. e *Streptomyces* spp. Estes gêneros de bactérias têm sido utilizados na agricultura devido à sua ação direta, que envolve a produção de antibióticos antifúngicos e a competição por substratos com outros organismos (Vieira Júnior *et al.*, 2013). As rizobactérias são bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* sp. que habitam a rizosfera de plantas realizando funções que promovem não apenas o crescimento vegetal, mas também pode surtir efeito antagônico e são beneficiadas pelos exsudados das raízes, exercem uma ação indireta, atuando como indutoras de resistência por meio de resistência sistêmica (Kanjanasopa *et al.*, 2021; Pieters *et al.*, 2014)

Estes microrganismos antagonista de fitopatógenos, substituto de produtos químicos têm atraído interesse no cenários agrícola (Zhao *et al.*, 2012; Vieira Junior *et al.*, 2013), devido possuírem capacidade de sintetizar vários metabólitos antimicrobianos (antibióticos, enzimas, e metabólitos secundários (Kumar *et al.*, 2012; Poveda *et al.*, 2021). Outros atributos dessas bactérias comprovam seu uso potente como fertilizantes biológicos ou agentes de biocontrole para melhorar a produção agrícola (Agbodjato *et al.*, 2015; Rijavec; La Panje, 2016; Sendi *et al.*, 2020). O objetivo desse estudo foi caracterizar os mecanismos de ação de isolados de *Bacillus* spp. e avaliar seu potencial na redução do crescimento micelial de *Fusarium guttiforme* e possível controle biológico da fusariose em mudas de abacaxi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento e obtenção do patógeno e isolados de *Bacillus* spp.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia (LABFITO) da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, *Campus* Paulo VI, São Luís.

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado com dezoito isolados de *Bacillus* spp. (MGSS 271, MGSS 272, MGSS 273, MGSS 276, MGSS 291, MGSS 293, MGSS 442, MGSS 443, MGSS 444, MGSS 280, MGSS 292, MGSS 294, MGSS 445, MGSS 274, MGSS 275, MGSS 288, MGSS 298, MGSS 441), preservados sob método Castellani, e um isolado fúngico de *Fusarium guttiforme* (MGSS 68) preservado em solo. Todos pertencentes à Coleção de Fitopatógenos “Prof. Gilson Soaras da Silva” – MGSS, do Laboratório de Fitopatologia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA – São Luís.

2.2 Caracterização de mecanismos de ação de isolados de *Bacillus* spp.

2.2.1 Produção de ácido indolacético (AIA)

Para analisar a produção de AIA, foi utilizada a metodologia proposta por Bric *et al.* (1991), com adaptações. A princípio os isolados foram repicados em placa de Petri de 7 cm de diâmetro, contendo meio de cultura B.D.A (Batata-Dextrose-Ágar), mantido em B.O.D a 26°C no período de 24 horas para crescimento das colônias. Após este período a solução bacteriana foi preparada com solução salina a 0,85% de cloreto de sódio (NaCl), ajustada em espectrofotômetro no comprimento de onda 540 nm D.O (0,5). Em seguida alíquotas de 500 µl da suspensão bacteriana foram transferidas para tubos falcon contendo 10 ml do meio de cultura TSA 10% suplementado com 1 g/l de L –triptofano. As amostras foram incubadas a 28°C por 72 horas sob agitação constante em mesa agitadora (Shake), a 150 rpm. Após este período, foram centrifugadas a 3600 rpm por 15 minutos. Do sobrenadante obtido, 2 ml de cada isolado foram vertidos para novos tubos de ensaio, na sequência adicionou-se 3 ml do reagente de Salkowski (1,0 mL de FeCl₃.6H₂O 0,5M em 50mL de HClO₄ 35%) (Patten;Glick,2002), sendo mantidos por 30 minutos no escuro em temperatura ambiente.

A produção do AIA pelos isolados bacterianos foi quantificada, através de leituras em espectrofotômetro UV visível no comprimento de onda 540 nm, D.O (0,5) (Asghar *et al.* ,2002). Um meio sem adição da suspensão bacteriana foi utilizado como testemunha. Para

determinação da concentração de AIA, uma curva padrão foi preparada de acordo com o método descrito por Sarwar e Kremer (1995), com concentrações definidas de AIA comercial (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 e 500 $\mu\text{g ml}^{-1}$). O delineamento utilizado foi DIC com 18 tratamentos e cinco repetições. Os dados da produção de AIA foram submetidos a análise de variância ANOVA. As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P= 0,05$), no programa R versão 4.2.3.

2.2.2 Produção de Ácido cianídrico (HNC)

Para verificar a produção de HCN pelos isolados de *Bacillus* spp. foi utilizada a metodologia descrita por Wei *et al.* (1991). Aliquotas de 50 μl de cada isolado foi cultivado em placas de Petri de 7 cm de diâmetro contendo meio de cultura TSA, suplementado com 4,4 g L^{-1} de glicina. Em seguida, foram colocados na parte superior da placa de Petri, discos de papel de filtro estéril umedecidas com solução de ácido pícrico (2,4 g de ácido pícrico; 12,5 g de Na_2CO_3 ; 1 L de água destilada). As placas foram seladas com filme plástico e incubadas a 28 °C em B.O. D, por sete dias. O delineamento utilizado foi DIC, com 18 tratamentos e cinco repetições. A produção de HCN foi evidenciada pela mudança de coloração do papel filtro de amarelo citrino para laranja (Wei *et al.*, 1991) e os isolados classificados como produtores e não produtores de HCN foram identificados como (+) para produção (++) produção média (+++) produção alta e (-) para indicar ausência de produção.

2.2.3 Produção de Enzima catalase- Cat (EC1. 11.1.6)

Para a produção da enzima catalase foi preparado solução bacteriana ajustada em espectrofotômetro a 600 nm, D.O (0,8), descrita por Kitancharoen e Hatai (1998), onde alíquotas de 30 μl da suspensão bacteriana foram riscadas em tubos de ensaio inclinados contendo 20 ml de meio NYDA (Wydra *et al.*, 2004). Em seguida incubados em BOD a 28°C, por um período de 72 horas, para crescimento da colônia bacteriana. O delineamento utilizado foi DIC com 18 tratamentos e cinco repetições. A reação positiva foi evidenciada pela presença de bolhas originárias do crescimento bacteriano ao colocar o reagente peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sobre o crescimento por inteiro (Mariano; Sousa, 2016).

2.2.4 Solubilização de fosfato

Na avaliação de isolados de *Bacillus* spp. solubilizadores de fosfato inorgânico foi usada metodologia descrita por Verma *et al.* (2001) e Rodriguez *et al.* (2000). Os isolados foram cultivados em meio contendo fosfato insolúvel com algumas adaptações (10 g de glicose; 5 g de NH₄Cl; 1 g de NaCl; 1 g de MgSO₄.7H₂O; 4 g de CaHPO₄; 15 g de ágar e pH 7,2; 1000 ml de água deionizada). Os isolados foram repicados para placas de Petri contendo meio enriquecido, colocados em pontos equidistantes e incubados em BOD a 28°C, fotoperíodo 12/12h. A avaliação foi evidenciada pela presença de um halo transparente em torno da colônia, demonstrando a solubilização do fosfato, os isolados foram avaliados após 10 dia de incubação.

O halo de solubilização foi mensurado com a utilização de um paquímetro digital. A partir da obtenção da média foi definido o índice de solubilização de fosfato (IS) de cada isolado através da formula: $IS = \frac{\text{Halo (mm)}}{\text{colônia (mm)}}$, descrito por (Hara; Oliveira, 2004). A solubilização foi classificada como: baixa solubilização ($IS < 2$), média solubilização ($2 \geq IS \leq 3$) e alta solubilização ($IS > 3$) de acordo com a metodologia de Silva Filho;Vidor (2000). O delineamento utilizado foi DIC com 18 tratamentos e três repetições. Os médias obtidos foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa Sisvar.

2.2.5 Formação de biofilme in vitro

Para avaliar a capacidade dos isolados de *Bacillus* spp. quanto a formação de biofilme os isolados bacterianos foram cultivados em caldo Infusão de Cérebro e Coração (BHI), por 18 horas a 26°C, sob agitação constante. Em seguida centrifugados a 3600 rpm por 15 minutos, o sobrenadante foi descartado e as células ressuspendidas em 1,5 ml de solução salina 0,85% esterilizada, efetuando-se nova centrifugação na mesma velocidade e tempo. Logo em seguida, o sobrenadante foi descartado, as células foram ajustadas em espectrofotômetro para obter uma população bacteriana equivalente a (10^8 UFC ml⁻¹). Alíquotas de 20 µl dessa solução bacteriana foram adicionados a 180 µl de meio mínimo de sais – MMS (K₂HPO₄ 7 g L⁻¹; KH₂PO₄ 2 g L⁻¹; MgSO₄. 7H₂O 0,2 g L⁻¹; (NH₄)₂ SO₄ 1 g L⁻¹; glicerol 4 g L⁻¹ e CaCl₂ 1 mmol L⁻¹), contidos em microplacas de poliestireno de 96 poços, em triplicata.

Em seguida as microplacas foram incubadas em B.O.D a 26°C, por 24, 48 e 72 horas. As células aderidas nas microplacas foram coradas com 200 µl de cristal violeta a 0,1% (p/v) em água destilada (p/v), por 30 minutos. Depois, o corante foi removido, na sequência os poços foram lavados sutilmente, por três vezes, com 200 µl de água destilada. As placas foram secas

em estufa a 40° C, por 15 minutos. A remoção do cristal de violeta contido em cada poço foi dissolvida em 200 µl de etanol (95 %), e a absorbância quantificada a 600 nm em Leitor de Elisa. A obtenção da densidade ótica através da leitura está relacionada a quantidade de adesão das células bacterianas ao poliestireno, portanto, quanto maior a colônia, mais possibilidade de formar matriz de biofilme. O delineamento utilizado foi DIC com 18 tratamentos e três repetições. As médias foram avaliadas no teste de Scott-Knott pelo programa Sisvar.

2.3 Efeito antagônico de isolados de *Bacillus* spp. no crescimento micelial de *Fusarium guttiforme*

O efeito antagonista foi avaliado pelo método do círculo, que inicialmente os 18 isolados de *Bacillus* spp. foram cultivados por 48 h e um isolado do fitopatógeno por sete dias em meio de cultura BDA (Batata, Dextrose, Ágar), após este período de cultivo foi preparado uma solução bacteriana ajustada em espectrofotômetro a 540 nm D.O (0,5), em seguida foi transferido assepticamente para o centro das placas de Petri com 9 cm de diâmetro contendo meio de cultura BDA, um disco de micélio 6,0 mm de diâmetro do fitopatógeno. Logo após com auxílio de uma alça de platina, a cultura bacteriana foi repicada, na mesma placa, distribuída no formato de círculo com diâmetro aproximado de 5 cm. Para os tratamentos controles o isolados do fitopatógeno foi cultivado somente em meio BDA (Mariano; Sousa, 2016).

A avaliação foi efetuada durante oito dias os resultados foram obtidos através de medições do diâmetro das colônias, em dois sentidos diametralmente opostos, com auxílio de um paquímetro digital (MTX[®]) determinando uma média para cada colônia. A percentagem de inibição do crescimento micelial foi calculada pela fórmula de (P.I.C) (Menten *et al.*, 1976), onde:

$$\text{PIC} = \frac{\text{Crescimento da testemunha} - \text{Crescimento tratamento} \times 100}{\text{Crescimento da testemunha}}$$

O delineamento utilizado foi DIC, com 18 tratamentos, cinco repetições e uma testemunha inoculada com o patógeno para cada teste realizado. As médias foram avaliadas através do teste de Tukey a 5 %, pelo programa Sisvar.

2.4 *Bacillus* spp. no controle da fusariose em mudas de abacaxizeiro

Para os testes *in vivo* de controle biológico da fusariose foram utilizadas mudas de abacaxizeiro tipo filhote, com dimensões entre 15,0 e 20,0 cm de comprimento das cultivares Turiaçu, Turipaz e Pérola (suscetível à fusariose) as cultivares Turiaçu e Turipaz foram obtidas no município de Turiaçu, a Pérola do município São Domingos do Estado do Maranhão. O

experimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia – LABFITO/UEMA, o delineamento experimental foi DIC, composto de 18 tratamentos/solução bacteriana e cinco repetições/cultivares, com um controle.

O isolado de *Fusarium guttiforme* MGSS 68 conservado em solo, foi repicado para placas de Petri, contendo meio BDA. Após 10 dias de crescimento deste em placa, transferiu-se quatro discos de micélio do patógeno, e palitos de higiene dentário, para tubos de ensaio, previamente autoclavados, contendo meio BD (Batata-Dextrose) para colonização do palito pelo isolado patogênico, por um período de 10 dias.

O preparo da solução bacteriana procedeu-se com 18 isolados de *Bacillus* spp. conservados em método Castellani. Foram repicados 30 ul de solução bacteriana de cada frasco, para placas de Petri contendo meio BDA, as placas foram seladas com papel filme e cultivados em BOD, fotoperíodo 12/h, por 48 horas. Após esse período foi preparado uma suspensão bacteriana, adicionando-se solução salina para as placas de Petri e ajustando a suspensão para D.O (0,5) e comprimento de onda 540 nm em espectrofotômetro.

O preparo das mudas de abacaxizeiro Turiaçu, Turipaz e Pérola, iniciou-se com a higienização em água corrente, seguido de imersão em hipoclorito de sódio 5%, por 3 minutos, enxague com água destilada, e secagem ao ar. Logo após as mudas foram imersas na solução bacteriana por 5 minutos. Em seguida, acondicionadas em câmara úmida, composta por bandejas plásticas de formato retangular, contendo papel toalha, umedecido com água destilada. Depois de duas horas realizou-se o procedimento de inoculação do patógeno nas mudas, através da inserção dos palitos colonizados na base das mudas, após realização de injúria mecânica. As bandejas foram colocadas em câmara úmida e acondicionadas no Laboratório em temperatura ambiente.

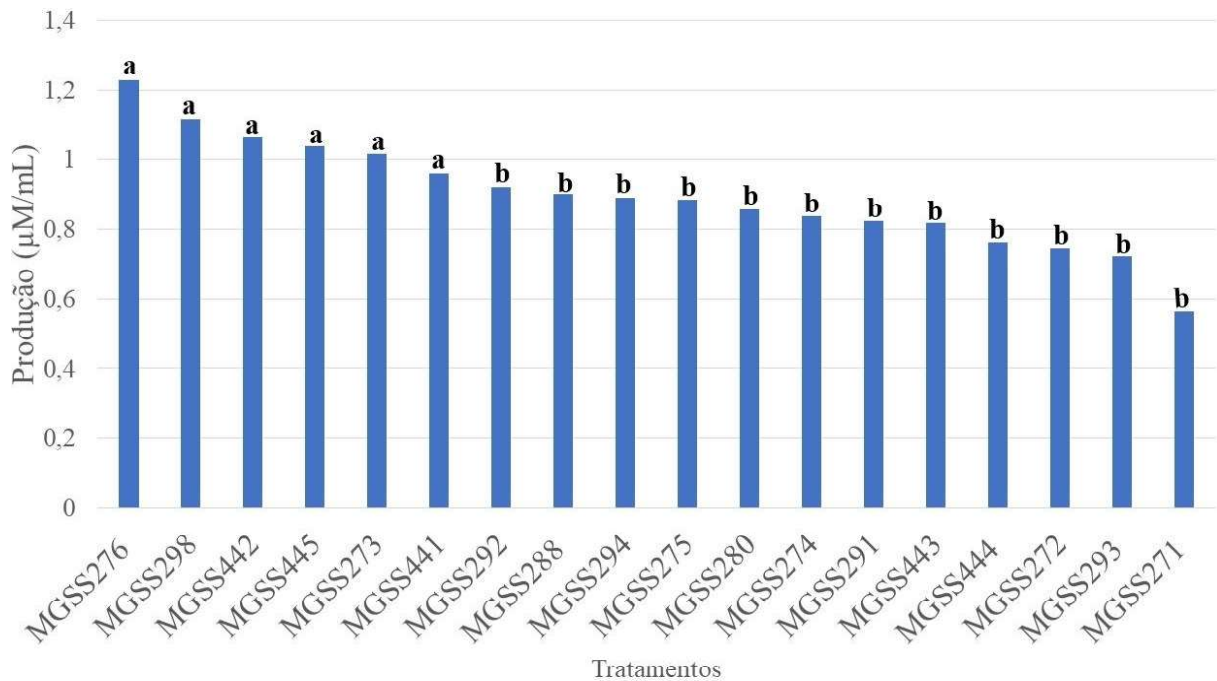
Foram realizadas duas avaliações, uma externa através de medição da lesão nas mudas com auxílio de um paquímetro digital aos vinte e um dias de inoculação e outra interna através de cortes longitudinais na base das mudas para medir a lesão aos trinta dias de inoculação nas cultivares Pérola e Turipaz. A cultivar Turiaçu não apresentou sintomas da doença. O delineamento utilizado foi DIC com 18 tratamentos com *Bacillus* spp. e um tratamento controle, com cinco repetições. As médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5 % de probabilidade pelo programa Sisvar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mecanismos de ação dos isolados de *Bacillus* spp Avaliação da produção de ácido indolacético (AIA)

Os resultados apresentados neste estudo mostraram que todos os isolados de *Bacillus* spp. foram capazes de produzir ácido indolacético (AIA), sendo as maiores quantidades obtidas pelos isolados MGSS 276 (257,19 $\mu\text{M}/\text{mL}$) MGSS 298 (143,87 $\mu\text{M}/\text{mL}$), MGSS 442 (148,11 $\mu\text{M}/\text{mL}$), MGSS 445 (118,86 $\mu\text{M}/\text{mL}$) MGSS 273 (152,24 $\mu\text{M}/\text{mL}$) MGSS 441 (125,51 $\mu\text{M}/\text{mL}$) (Figura 1).

Figura 1 Avaliação da produção de ácido3-indol -acético (AIA), produzidos por isolados de *Bacillus* spp.($\mu\text{M}/\text{mL}$). As médias foram agrupadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade



Resultados semelhantes quanto a produção de AIA, foram identificados por Leoncio e Botelho (2017), ao investigarem o potencial de diversas espécies de bactérias como indutoras de crescimento vegetal no alho (*Allium sativum*), constataram que uma considerável proporção (82%) dos isolados foi capaz de sintetizar ácido indolacético (AIA). Dados similares foram relatados nos estudos de Bhutani *et al.* (2018), em experimentos de laboratório, foi observada a produção de ácido indolacético (AIA) por bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* spp. Além disso, Giassi *et al.* (2016) identificaram resultados positivos na produção desse hormônio por diversas espécies de bactérias, incluindo *Bacillus* spp. Apesar da relativa abundância, diversos estudos indicam que a distribuição do ácido indolacético (AIA) em organismos do mesmo gênero e espécie não é uniforme, algumas estirpes possuem a capacidade de produzir AIA, enquanto outras não apresentam (Blaha *et al.*, 2006; Orozco-Mosqueda; Glick; Santoyo, 2020).

3.2 Avaliação da produção de ácido cianídrico (HCN), e enzima catalase pelos isolados de *Bacillus* spp.

Dentre os 18 isolados de *Bacillus* spp. os classificados com alta produção de ácido cianídrico (HCN) foram os isolados MGSS 271, MGSS 272, MGSS 291, MGSS 293, MGSS 280, MGSS 294, MGSS 445, MGSS 274, MGSS 275, MGSS 441 (Tabela 1).

O resultado positivo da produção de enzima catalase foi observado através da presença de bolhas originárias do crescimento bacteriano submetido ao peróxido de hidrogênio H₂O₂ (Tabela 1). Nesta avaliação todos os 18 isolados foram promissores na produção da enzima catalase.

Tabela 1. Avaliação da produção de ácido cianídrico (HCN) e enzima catalase por isolados de *Bacillus spp.*

| Tratamento | Produção | |
|-----------------|----------|----------|
| | HCN | Catalase |
| Controle | - | - |
| MGSS 271 | +++ | + |
| MGSS 272 | +++ | + |
| MGSS 273 | - | + |
| MGSS 276 | ++ | + |
| MGSS 291 | +++ | + |
| MGSS 293 | +++ | + |
| MGSS 442 | + | + |
| MGSS 443 | ++ | + |
| MGSS 444 | ++ | + |
| MGSS 280 | +++ | + |
| MGSS 292 | ++ | + |
| MGSS 294 | +++ | + |
| MGSS 445 | +++ | + |
| MGSS 274 | +++ | + |
| MGSS 275 | +++ | + |
| MGSS 288 | ++ | + |
| MGSS 298 | ++ | + |
| MGSS 441 | +++ | + |

(-) Indica ausência de produção, (+) produção, (++) média produção, (+++) alta produção.

A síntese de HCN tem relação direta com a proteção da planta hospedeira, ao impedir a cadeia respiratória dos fitopatógenos e pragas, após se ligar ao ferro da citocromo oxidase na mitocôndria. Desta forma, bactéria produtora de HCN ao ser inoculada na planta constitui uma interação benéfica de defesa (Srinivasan *et al.*, 2012). Além do mais, o ácido cianídrico não apenas detém propriedades inibidoras de fitopatógenos, mas, também possui capacidade para estimular o crescimento da planta, de forma direta ao promover o aumento dos pelos radiculares, essa característica pode explicar, junto, ao AIA, elevado número de pêlos radiculares na planta hospedeira (Luz, 1996).

Para Coelho (2006), a presença da glicina pode ser detectada nos exsudatos radiculares de diversas plantas, existe a possibilidade da existência dela na rizosfera como precursor potencial para síntese de ácido cianídrico elaborado por rizobactérias.

Porém, apesar do HCN contribuir para o estímulo de crescimento vegetal, em grandes quantidades pode inibir o desenvolvimento de algumas plantas, como evidenciado no experimento de Paz (2009). Essa relação pode ser atribuída à provável participação desse metabólito na inibição do metabolismo energético, agindo no desacoplamento do sistema do

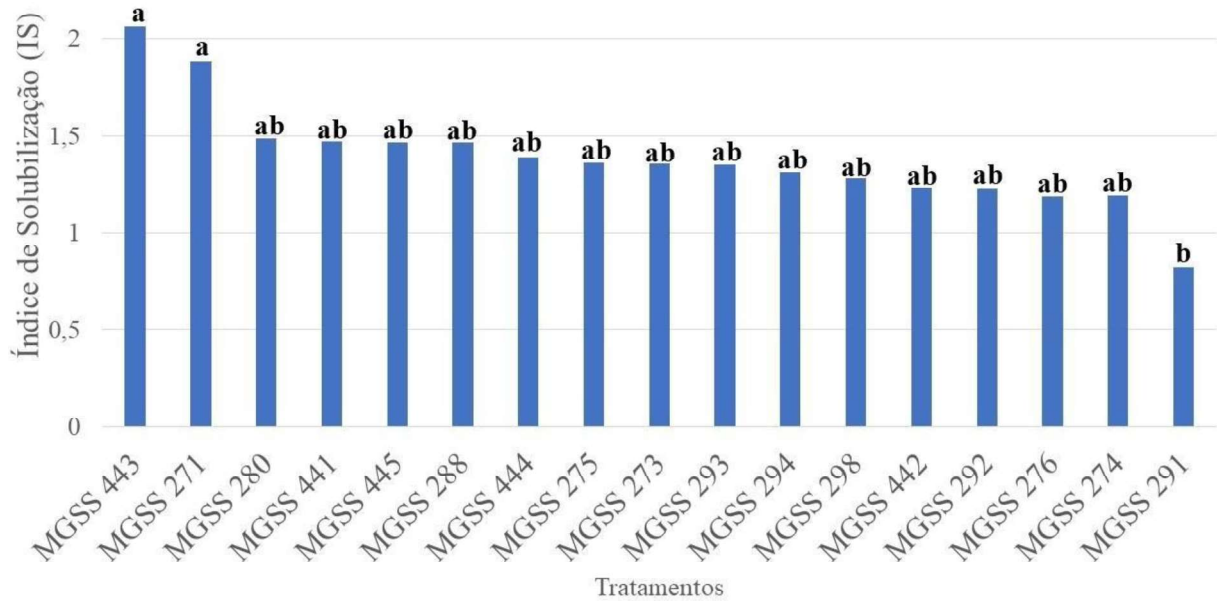
citocromo P450 em algumas plantas observado por Kremer; Souisse (2001). Corroborado por Bakker e Schippers (1987) ao verificar que todas as linhagens de *Pseudomonas* fluorescentes associadas a promoção de crescimento de plantas de batata, não eram produtoras de ácido cianídrico (HCN). Com base nesses resultados, é recomendado que o uso de agentes de biocontrole que produzem altas concentrações de ácido cianídrico (HCN), seja restrito a tratamentos pós-colheita (Leelasupkul *et al.*, 2008; Mikani *et al.*, 2008).

Com relação à produção de enzimas por microrganismos, as células bacterianas apresentam diversos mecanismos de defesa antioxidante. Espécies de *Bacillus* e várias outras bactérias desempenham uma reação antioxidante ao produzirem uma variedade de enzimas, tais como, Superóxido dismutase (SOD), Catalase (CAT), Peroxidase (POD), Polifenol oxidase (PPO), Fenilalanina amônia liase (PAL), e ácidos fenólicos, nas plantas colonizadas. Esse processo contribui para aprimorar a resposta das plantas às condições de estresse oxidativo. Dentre as enzimas, a ação combinada da SOD (superóxido dismutase) e da CAT (catalase) desempenha um papel crítico na atenuação dos efeitos do estresse oxidativo (Radhakrishnan; Hashem; Abd Allah, 2017; Rais *et al.*, 2017; Padró *et al.*, 2021). Além de atuar para manter os radicais livres (ROS) em níveis não tóxicos para as células. Contudo, a capacidade das bactérias em superar o estresse oxidativo está diretamente relacionada aos níveis e tipos de enzimas antioxidantes que possuem (Poole, 2012; Padró *et al.*, 2021).

3.3 Avaliação dos isolados de *Bacillus* spp. quanto a solubilização de fosfato

Todos os isolados bacterianos avaliados neste estudo demonstraram capacidade de solubilizar fosfato inorgânico, em condições laboratoriais, dos quais, os isolados MGSS 443 e MGSS 271, apresentaram maior índice de solubilização (IS= 2,063 e IS= 1,88 respectivamente), diferindo de modo estatístico apenas do isolado MGSS 291 com IS=0,82 (Figura 2). Ressalta-se que, os isolados de *Bacillus* spp. apresentaram índice baixo de solubilização de fosfato (<2), de acordo com os critérios de classificação de (Silva Filho; Vidor, 2000).

Figura 2. Avaliação da solubilização de fosfato inorgânico pelos isolados de *Bacillus spp.* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



O papel do fósforo no desenvolvimento das plantas é amplamente reconhecido, entretanto, esse nutriente não se encontra biologicamente disponível, a escassez desse elemento para as plantas decorre de sua elevada reatividade e da alta capacidade de reter seus íons de P, que estão associados a diversos componentes do solo (Hinsinger, 2001).

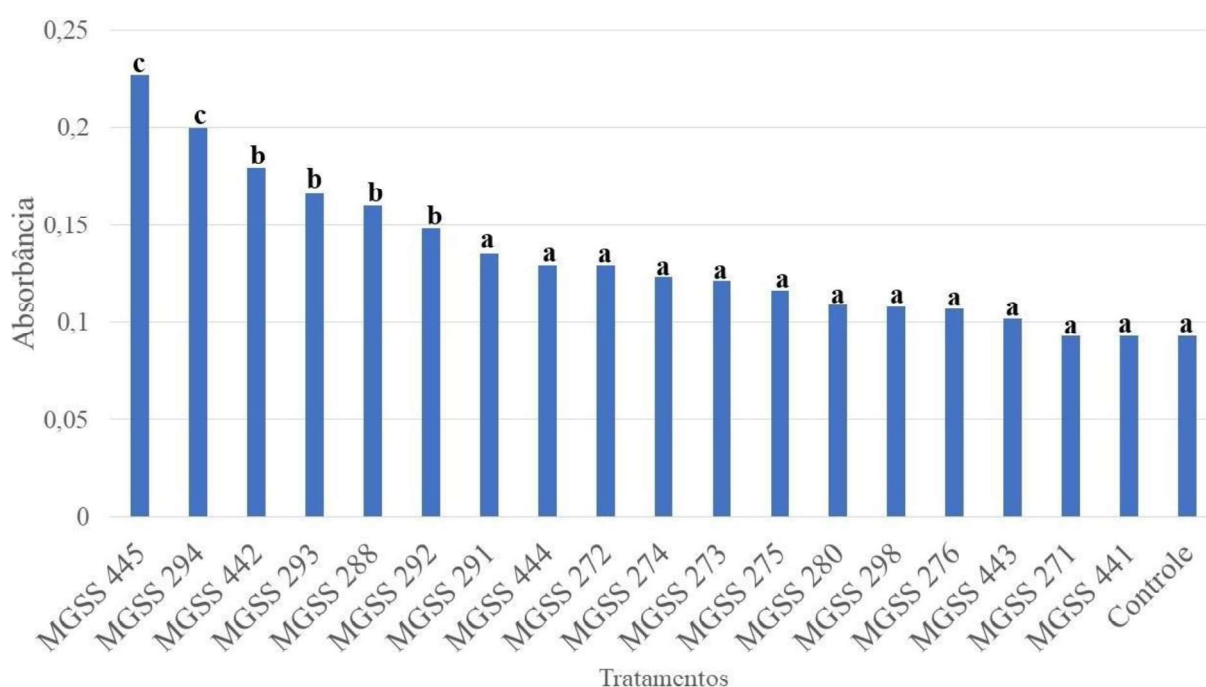
Em solos de Cerrado a presença de fósforo disponível para as plantas é limitada devido ao extenso intemperismo, ao baixo teor de P total, à composição mineral e às condições geoquímicas características desse tipo de solo que facilita o sequestro dos íons de P principalmente pelos óxidos de Fe e Al, diminuindo assim as concentrações de fósforo na solução (Goedert *et al.* 1986; Mendes; Reis Junior, 2003). No entanto, isolados de *Bacillus spp.* solubilizadores de fosfato auxiliam na disponibilidade desse fósforo no solo através de enzimas secretoras. Por meio da acidificação das células microbianas em seus arredores, resultando na liberação dos íons de fosfato, esse processo possibilita a disponibilidade do fósforo para as plantas (Olanrewaju; Glick; Babalola, 2017; Solanki; Kundu; Nehra, 2018).

Ademais os microrganismos multifuncionais apresentam características de biofertilização, como a capacidade de fixação de nitrogênio e solubilização de fosfato através da produção de ácidos orgânicos e enzimas, incluindo as fitases (Oliveira *et al.*, 2009; Jorguera *et al.*, 2011). Os resultados alcançados neste estudo estão em consonância com os achados de Giassi *et al.* (2016), observado em sua pesquisa uma baixa capacidade de solubilização de fosfato por isolados de *Bacillus spp.*

3.4 Avaliação da formação de biofilme pelos isolados de *Bacillus* spp.

Nesta avaliação observou-se adesão das células bacterianas ao poliestireno na formação de biofilme nos tratamentos MGSS 288, MGSS 292, MGSS 293, MGSS 294, MGSS 442, MGSS 445, com 72 h de incubação (Figura 3). Nas avaliações com 24 e 48 horas de incubação não houve formação de biofilme.

Figura 3. Avaliação da quantificação de formação de biofilme pelos isolados de *Bacillus* spp. As médias foram agrupadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.



Os resultados com 72 h de incubação sugerem agregação celular suficiente que a formação de biofilme se torna capaz com o esgotamento dos nutrientes no meio (Stepanovic *et al.*, 2007). A formação de biofilme representa uma estratégia para o crescimento bacteriano em superfícies. Os resultados adquiridos neste estudo demonstram a produção e o estabelecimento eficaz do biofilme dos respectivos isolados de *Bacillus* spp. citados acima.

Para Costerton *et al.* (1999), a formação de biofilmes maduros pode depender de uma combinação de fatores, bem como, ajustes celulares e ciclos de crescimento influenciados pela difusão de nutrientes na comunidade. O estresse nutricional emerge como o sinal ambiental decisivo para a transição entre procariotos unicelulares e associações multicelulares. Desta forma, acredita-se que a formação de biofilmes seja uma resposta adaptativa para garantir a sobrevivência em condições adversas (Webb *et al.*, 2003). No entanto, é importante destacar

que, isoladamente, essa capacidade de formar biofilme, não é suficiente para assegurar o sucesso do biocontrole. É necessário levar em conta que as bactérias desempenham capacidade de produzir outros mecanismos de ação favoráveis, bem como, ácido indolacético, enzima catalase, ácido cianídrico, solubilização de fosfato, entre outros. Torna-se interessante considerar a relevância individual de cada um desses mecanismos, estabelecendo uma correlação com a capacidade ou não de formação de biofilme pelos isolado bacteriano (Chen *et al.*, 2013).

3.5 Efeito antagônico de isolados de *Bacillus* spp. no crescimento micelial de *Fusarium guttiforme*

Na avaliação *in vitro* foi observado a eficácia dos isolados de *Bacillus* spp. na inibição do crescimento micelial do fitopatógeno *F. guttiforme*. Os isolados MGSS 276 e MGSS 441 obtiveram um percentual de inibição significativo (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito antagônico de isolados de *Bacillus* spp. contra *F. guttiforme* com oito dias de inoculação.

| Isolados | Média do crescimento micelial | Percentagem de inibição do crescimento micelial (%) |
|----------|-------------------------------|---|
| MGSS 276 | 30,994f | 65,71 |
| MGSS 441 | 31,198f | 65,48 |
| MGSS 280 | 37,760ef | 58,22 |
| MGSS 294 | 38,025ef | 57,93 |
| MGSS 271 | 39,500def | 56,30 |
| MGSS 443 | 39,571def | 56,22 |
| MGSS 291 | 39,967cdef | 55,78 |
| MGSS 445 | 40,873cdef | 54,78 |
| MGSS 288 | 42,077bcdef | 53,45 |
| MGSS 442 | 43,688bcde | 51,67 |
| MGSS 272 | 47,840bcde | 47,07 |
| MGSS 293 | 48,248bcde | 46,62 |
| MGSS 274 | 48,464bcde | 46,38 |
| MGSS 292 | 49,348bcde | 45,40 |
| MGSS 444 | 50,881bcd | 43,71 |
| MGSS 273 | 51,772bcd | 42,72 |
| MGSS 298 | 51,990bc | 42,48 |
| MGSS 275 | 53,263b | 41,07 |
| Controle | 90,396 ^a | - |
| CV | 11,57 % | - |

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Durante a avaliação *in vitro* foi evidenciado a presença de um halo de crescimento bacteriano ao redor da colônia de *F. guttiforme* inibindo seu crescimento, mesmo nos casos em que o fitopatógeno conseguiu estabelecer uma colônia, esta apresentou um crescimento micelial deficiente e sem volume. Além de perder sua característica de micélio aéreo e cotonoso.

O percentual de inibição do isolado MGSS 276 desta pesquisa foi semelhante com os encontrados por Dias (2023), ao avaliar o efeito antagônico *in vitro* deste mesmo isolado bacteriano contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* observou que a bactéria foi significativamente eficiente ($P < 0,05$) em inibir o crescimento micelial de quatro isolados do patógeno em 46,55%; 52,32%; 66,55% e 55,99% para os isolados de *Fusarium* MGSS 60; MGSS 395; MGSS 396 e MGSS 397 respectivamente.

Do mesmo modo, Remuska e Dala Pria (2007) observaram em testes *in vitro* que a bactéria *B. thuringiensis* demonstrou ser altamente eficaz como antagonista contra *Sclerotium rolfsii*, *Monilinia fruticola*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*, alcançando taxas de inibição do crescimento micelial dos fungos de 39,41%, 37,97%, 37,44% e 36,17%, respectivamente.

Estudos recentes Ferreira *et al.* (2021), relataram que os isolados de *Bacillus* spp. AP-03 e AP-210, apresentaram percentuais inibidores de crescimento de micélio e produção de conídios de *F. verticillioides* estrutura importante para ocorrer a infestação.

3.6. *Bacillus* spp. no controle da fusariose em mudas de abacaxizeiro

Os resultados dos testes de controle biológico foram obtidos mediante duas avaliações após a inoculação do fitopatógeno *F. guttiforme* nas mudas de abacaxizeiro, a primeira foi realizada aos vinte e um dias (avaliação externa) e a segunda avaliação com trinta dias (avaliação interna)

A cultivar Turiaçu não apresentou lesão, fato que demonstra sua tolerância ao *F. guttiforme*. Reis (2020) também observou em estudos com seleção clonal de abacaxi Turiaçu (tradicional) tolerância ao *F. guttiforme*. O estudo de Abreu *et al.* (2017) relata que a tolerância desta cultivar pode estar ligada à sua diversidade genética.

Os resultados da cultivar Pérola tratada com os isolados MGSS 443 e MGSS 288 obtiveram relevância significativa no controle da lesão comparada com o tratamento controle, aos vinte e um dias de inoculação (avaliação externa) (Figura 4). Aos trinta dias (avaliação interna) o isolado MGSS 444 demonstrou capacidade de inibir o crescimento da lesão diferindo estatisticamente do tratamento controle (Figura 5).

A cultivar Turipaz aos vinte e um dia de inoculação (avaliação externa), apontou tolerância ao fitopatógeno (Figura 6). No resultado da avaliação aos trinta dias (Avaliação interna), os isolados de *Bacillus* spp. MGSS 445 e MGSS 293 mostraram inibição da lesão, ao diferir estatisticamente dos demais tratamentos e do tratamento controle (Figura 7).

Na avaliação externa da cultivar Pérola aos vinte e um dia de inoculação, foi possível observar que todas as mudas tratadas com os isolados de *Bacillus* spp. apresentaram diferenças estatísticas em relação as mudas sem o tratamento de *Bacillus* spp. (Tratamento Controle) (Figura 4).

Os tratamentos das mudas da cultivar Pérola com isolados de *Bacillus* spp. MGSS 443 e MGSS 288, apresentaram menor tamanho de lesão causado pelo patógeno *F. guttiforme* e não diferindo significativamente de outros quinze tratamentos bacterianos, demonstrando efeito dos tratamentos destes isolados de *Bacillus* spp.

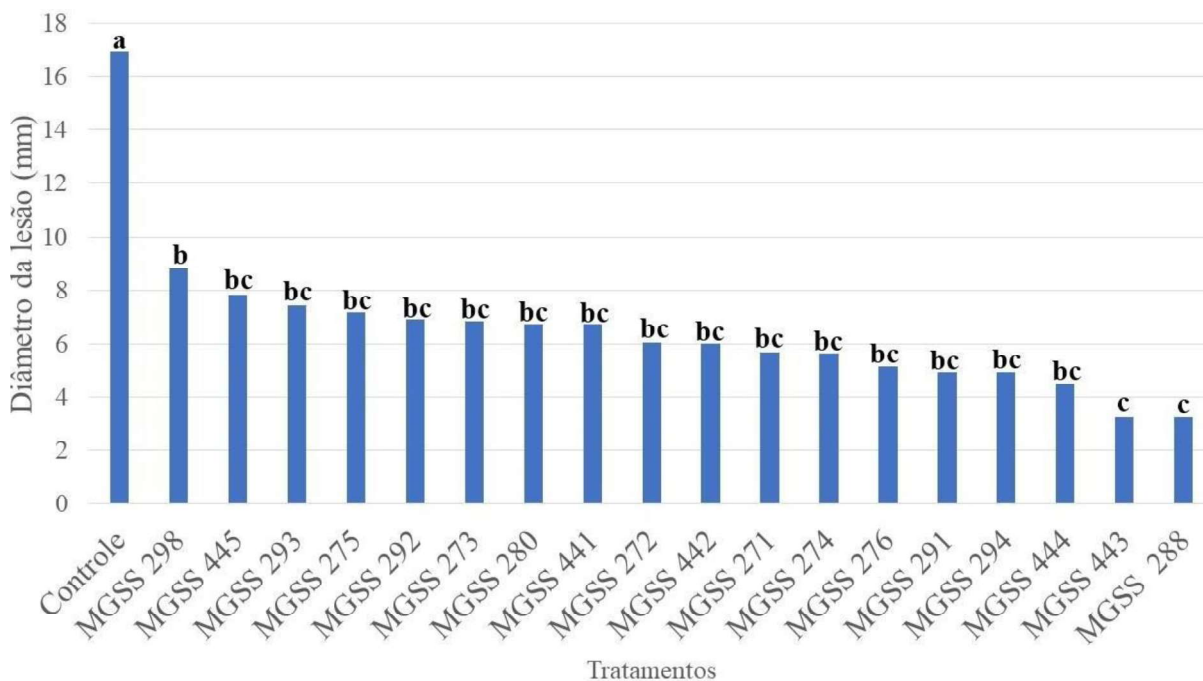
Esse estudo trouxe uma nova possibilidade no controle da fusariose através do controle biológico voltada para o patossistema *Ananas comosus* versus *Fusarium guttiforme*, pouco ainda estudado no meio científico. Portanto, é uma proposta promissora para os produtores de abacaxi não apenas do estado do Maranhão, mas para toda a cadeia produtiva desta cultura. Pois foi possível demonstrar o potencial de *Bacillus* spp. a capacidade desses microrganismos de reduzir a incidência e a severidade da fusariose de maneira sustentável, sem depender de produtos químicos sintetizados. Por isso, foi citada outras evidências observadas em experimentos que obtiveram sucesso no controle de fusariose em diferentes culturas utilizando *Bacillus* spp. como ferramenta antagônica.

Os resultados encontrados nesse estudo apontam similaridade aos de Campos Neto *et al.* (2018), outras pesquisas relevantes como as de Fan *et al.* (2021); Sahzad *et al.* (2017) mostraram o potencial de *Bacillus* spp. no controle de *Fusarium* spp.

No entanto vale a pena ressaltar a inovação no controle biológico para a fusariose de abacaxizeiro pelos isolados de *Bacillus* spp. , através da determinação dos mecanismos de ação desses microrganismos, que são motores para o controle de fitopatógenos. De fato , os resultados significativos aqui apresentado com abacaxizeiro , por sua vez, fazem a diferença nos parâmetros avaliativos de controle de *Fusarium guttiforme* nesta cultura, pois, formam a base científica que explica a capacidade desses microrganismos para o biocontrole garantir a produtividade e a sustentabilidade da produção na agricultura. Na verdade a eficiência de biocontrole comprovada nesse estudo por esses microrganismos pode-se comparar com as formulações bacteriana registrada no Ministério da Agricultura Pecuária, e Abastecimento- MAPA: Quartz® (biofungicida), AgTecmmon (biofungicida), Amanzir (biofungicida),

AmitrixSC (biofungicida) (Agrofit, 2024).

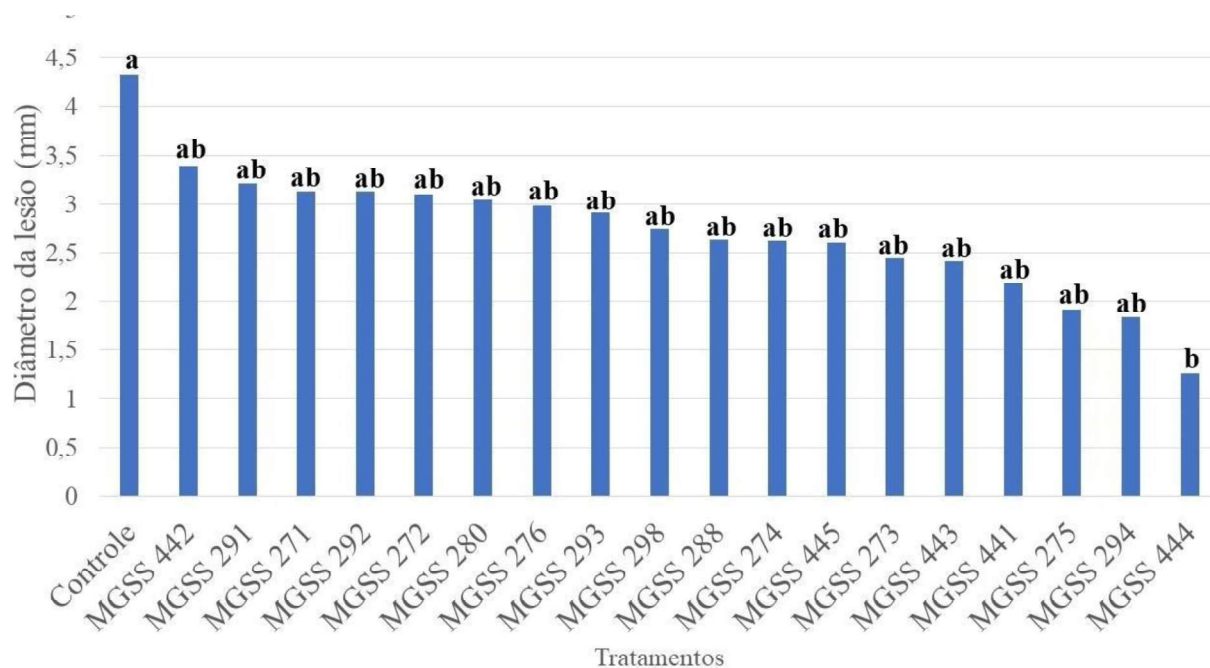
Figura 4. Avaliação externa de mudas de abacaxi Pérola vinte e um dia de inoculação- *F. guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



A avaliação dos sintomas internos em mudas de abacaxi Pérola verificou-se que o isolado MGSS-444 apresentou melhor resultado entre os demais tratamentos com *Bacillus* spp. após trinta dias de inoculação (Figura 5).

O efeito colonizador do tratamento MGSS 444 na parte interna das mudas de abacaxizeiro Pérola proporcionou a inibição do crescimento da lesão. Esse resultado é significativo considerando os prejuízos que este fitopatógeno causa na cultura. Neste caso, a inibição da lesão está associada à produção de metabólitos secundários entre eles HCN, enzima catalase, produção de AIA e solubilização de fosfato.

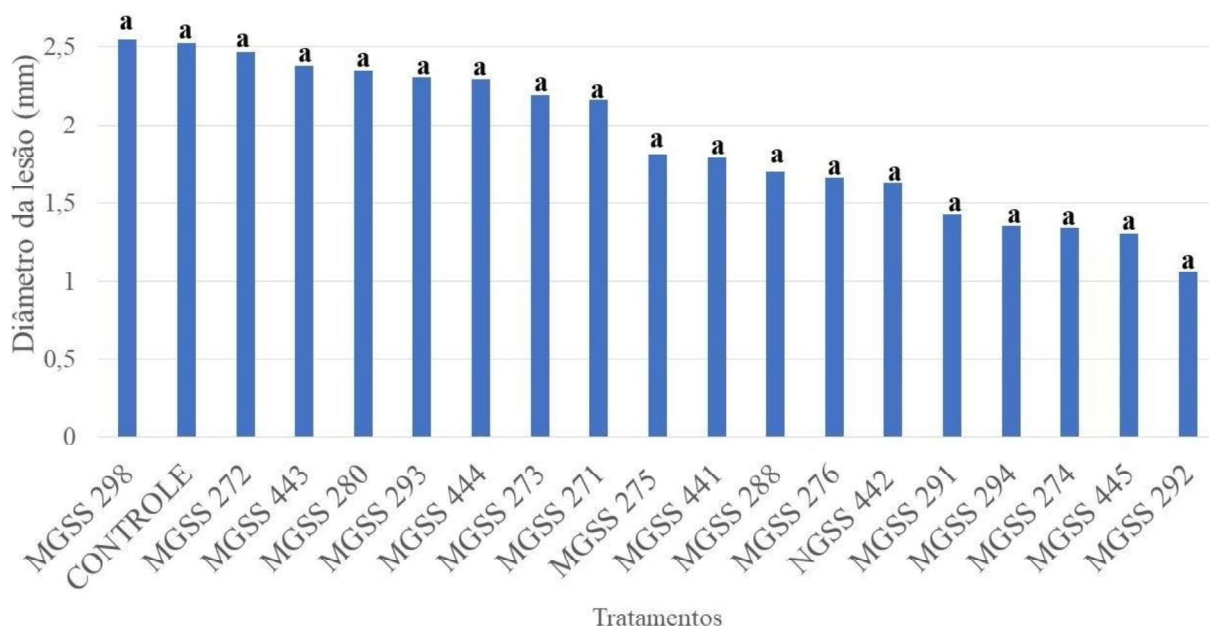
Figura 5. Avaliação interna de mudas de abacaxi Pérola trinta dias de inoculação - *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



O ácido cianídrico (HCN) interfere na respiração celular de patógenos, inibindo a citocromo carbono oxidase e desativando outras metaloproteínas, levando à hipóxia histotóxica e consequente depressão do sistema nervoso central e atividade miocárdica do fitopatógeno. (Petrikovics *et al.*, 2015). Esses resultados embora utilizados em outras culturas agrícolas corroboram aos achados de Ferreira *et al.* (2021) ao evidenciarem a redução da incidência de *F. verticillioides* em mudas de milho (*Zea mays* L.) tratadas com *Bacillus* spp., estes são produtores de ácido indolacético (AIA), ácido cianídrico (HCN), catalase (CAT) e solubilizadores de fosfato (SP). Abdelmoteleb *et al.* (2022) relataram o efeito antagônico de cepas de *B. subtilis* capazes de proteger as mudas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) do fungo fitopatogênico *Fusarium solani* ICADL1. Bem como, Fan *et al.* (2021) avaliaram o efeito de controle dos isolados *B. subtilis* (YN1419) e *B. Amyloliquefaciens* (YN0904), sobre *F. oxysporum* em mudas de bananeira (*Musa* spp.) inibindo o índice da doença em 82,6% e 85,6%, respectivamente.

Para as avaliações externas das mudas de abacaxizeiro Turipaz ocorrida após vinte e um dia de inoculação, observa-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos com os isolados de *Bacillus* spp. e o tratamento controle. (Figura 6).

Figura 6. Avaliação externa de mudas de abacaxi Turipaz vinte e um dias de inoculado- *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

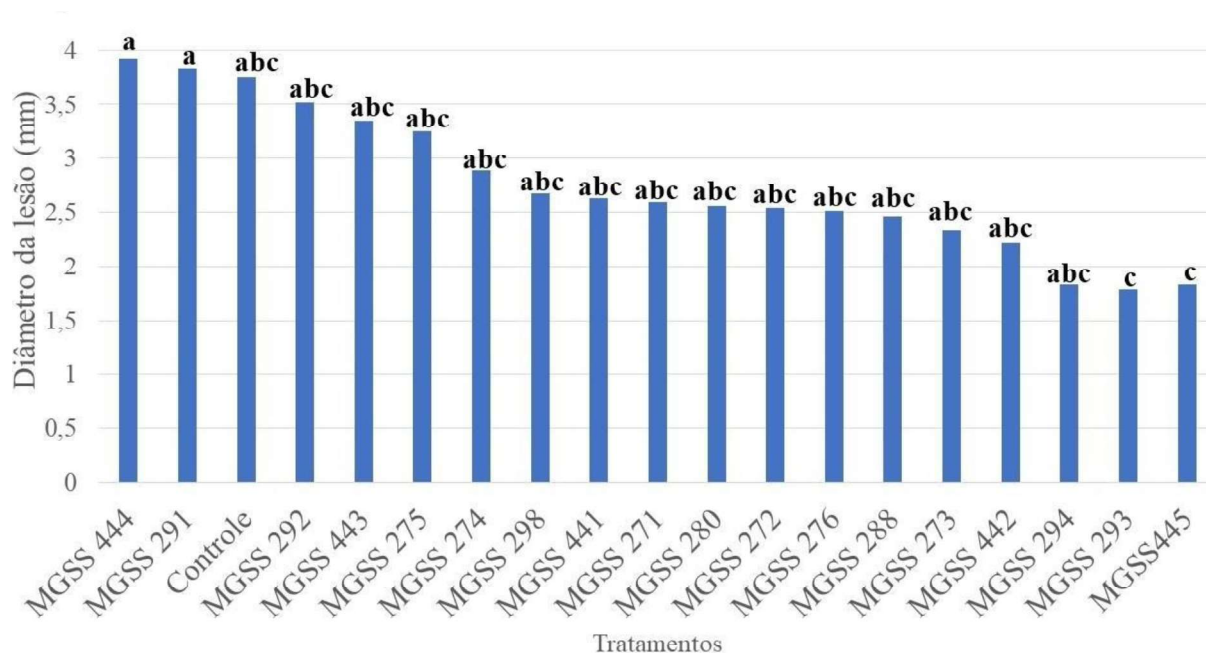


Sabendo que a cultivar Turiaçu tradicional é tolerante ao *F. guttiforme* e o Turipaz sendo uma seleção clonal da referida cultivar, provavelmente o genótipo da variedade Turipaz possui genes tolerantes ao fitopatógeno, fato confirmado nos resultados desta pesquisa, que não houve diferença estatística aos vinte e um dias após inoculação das mudas com o patógeno (Tratamento Controle) em relação as mudas tratadas com os isolados de *Bacillus* spp.

Conforme Oliver e Solomon (2010), quando uma planta se mostra tolerante, os sintomas da doença se manifestam, mas sem comprometer o seu desenvolvimento. Isso ocorre, devido os patógenos adaptados à espécie vegetal produzem fatores de virulência, como por exemplo efetores, codificados por genes específicos de virulência/avirulência (genes avr).

Para as avaliações internas das mudas de abacaxi Turipaz realizadas com trinta dias de inoculação, os tratamentos com isolados de *Bacillus* spp. MGSS-445 e MGSS-293 diferiram estatisticamente dos tratamentos MGSS-291; MGSS-444 e do tratamento controle (Figura 7). Observou-se ainda que na avaliação externa os isolados MGSS-445; MGSS-293 foram estatisticamente iguais ao tratamento controle. Porém na avaliação interna houve antagonismo nas respectivas mudas de abacaxizeiro Turipaz com estes isolados.

Figura 7. Avaliação interna de mudas de abacaxi Turipaz trinta dias de inoculação com *Fusarium guttiforme*. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Apesar dessa variedade ter apresentado tolerância nas avaliações externas. Mostrou-se afetada pelo patógeno quando avaliada internamente. A detecção de características antagônicas desenvolvida pelos tratamentos com *Bacillus* spp. isolados MGSS 445 e MGSS 293, na parte interna das mudas, podem estar relacionadas com a capacidade dos mesmos terem formado biofilme, além de produzirem todos os mecanismos de ação realizados nos testes bioquímicos. Esses mecanismos desencadeiam um sistema de defesa contra fitopatógeno ao formar zonas inibidoras eficientes.

A habilidade de isolados de *Bacillus* spp. em formar biofilme requer microrganismos dinâmicos e funcionais. Ademais a função protetora estrutural da matriz do biofilme desempenha um papel fundamental na fisiologia e ecologia bacteriana, incluindo interações celulares, utilização de nutrientes, transferência horizontal de genes (Flemming; Wingender, 2010).

4 CONCLUSÕES

As bactérias do gênero *Bacillus* spp. observadas nesse estudo mostraram-se eficientes nas análises de produção dos mecanismos de ação: ácido indolacético; ácido cianídrico; enzima catalase; solubilização de fosfato e formação de biofilme. Os resultados indicam o potencial biocontrolador dos isolados de *Bacillus* spp. sobre o *F. guttiforme* tanto *in vitro* (laboratório), ao criar um halo de inibição do crescimento micelial, quanto *in vivo* no biocontrole em mudas de abacaxizeiro.

Os *Bacillus* spp. MGSS 443, MGSS 288 e MGSS 444 demonstraram eficácia ao inibir o crescimento da lesão nas mudas da cultivar Pérola.

Os *Bacillus* spp. MGSS 445 e MGSS 293 apresentaram efeito inibidor da lesão nas mudas da cultivar Turipaz. Portanto, a aplicação de *Bacillus* spp. representa uma ferramenta sustentável para otimizar o desempenho vegetativo e auxílio no manejo dos sistemas produtivos de abacaxizeiro. Pesquisas subsequentes devem se concentrar na avaliação prática desses métodos, em experimentos de campo e para diferentes condições e patossistemas.

REFERÊNCIAS

- ABDELMOTELEB, A. *et al.* New *Bacillus subtilis* strains isolated from *Prosopis glandulosa* rhizosphere for suppressing *Fusarium* spp. and enhancing growth of *Gossypium hirsutum* L. **Biology**, v. 12, n. 1, p. 73, 2022. DOI:10.3390/biology12010073. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36671765/>. Acesso em: 14 fev.2024.
- ABREU, G. B. *et al.* Estimation of genetic parameters of Turiaçu Pineapple clones and genetic correlation between traits. **Agricultural Sciences**, v. 8, n.10, p. 1253-1262, 2017. DOI 10.4236/as.2017.811090. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=80256>. Acesso em:29 dez.2023.
- AGBODJATO N.A. *et al.* Characterization of potentially growth-promoting rhizobacteria from plants isolated from maize (*Zea mays* L.) central and northern Benin (West Africa). *Appl Environ Soil Sul. Environmental Soil Science*, v. 2015, p. 9, 2015. DOI <https://doi.org/10.1155/2015/901656>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/aess/2015/901656/>. Acesso em:28 dez. 2023.
- AGROFIT. Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 7 mar. de 2024.
- ASGHAR, H; ZAHIR, Z; ARSHAD, M; KHALIQ, A. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassicajuncea* L. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, n.4, p.231-237,2002. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-002-0462-8>. Disponível em: DOI <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-002-0462-8#citeas>. Acesso em: 23 out.2023.
- BAKKER, A. W; SCHIPPERS, B. Microbial cyanide production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp-mediated plant growth stimulation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.451-457, 1987. Disponível em: <https://www.uu.nl/sites/default/files/soilbiolbiochem-bakker-1987.pdf> . Acesso em: 23 out.2023.
- BHUTANI, N *et al.* Optimization of IAA production by endophytic *Bacillus* spp. from *Vigna radiata* for their potential use as plant growth promoters. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 65, n. 1–2, p. 83–96, 2018. DOI 10.1163/22238980-00001025. Disponível em: https://brill.com/view/journals/ijps/65/1-2/article-p83_9.xml. Acesso em: 29 dez.2023.
- BLAHA, D *et al.* Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase encoding gene *acdS* in phytobeneficial and pathogenic Proteobacteria and relation with strain biogeography. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 56, n. 3, p. 455–470, 2006. DOI 10.1111/j.1574-6941.2006.00082.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16689877/>. Acesso em: 29 dez 2023
- BRIC, J.M; BOSTOCK, R.M; SILVERTONE, S.E. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. **Applied and Environmental Microbiology**, v.57, n.2, p.535-538, 1991. DOI <https://doi.org/10.1128/aem.57.2.535-538.1991>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.57.2.535-538.1991>. Acesso em: 27 out.2023.

CAMPOS NETO. *et al.* Bacterial Formulations in Induction of Resistance and Growth Promotion of Tomato. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.10, 2018. DOI 10.5539/jas.v10n10p493. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/36869>. Acesso em: 13 fev.2024.

COELHO, L. F. **Interação de *Pseudomonas* spp. e de *Bacillus* spp. com diferentes rizosferas** (Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, 2006.

COSTERTON, J.W; STEWART, P.S; GREENBERG, E.R. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. **Science**, 284: 1318-1322, 1999. DOI 10.1126/science.284.5418.1318. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10334980/>. Acesso em: 29 dez.2023.

CHEN, Y. *et al.* Biocontrol of tomato wilt disease by *B. subtilis* isolates from natural environments depends on conserved genes mediating biofilm formation. **Environmental microbiology**, v.15, n.3, p.848-864, 2013. DOI 10.1111/j.1462-2920.2012.02860.x. Disponível em: <https://enviromicro-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1462-2920.2012.02860.x>. Acesso em :28 dez.2023.

DIAS, L.R.C. **Manejo de doenças em variedades tradicionais e cultivares biofortificadas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L) Walp]**. 2023. 133 f. Tese (Doutorado em Agroecologia)- Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, 2023.

FAN, H. *et al.* Biological Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4 Using Natively Isolated *Bacillus* spp. YN0904 and YN1419. **Journal of fungi**, v.7, n.10, p.795. 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/jof7100795>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/7/10/795>. Acesso em: 14 fev.2024

FLEMMING, H.C; WINGENDER, J. The biofilm matrix. **Nat Rev Microbiol**, v. 8, p.623–633, 2010. DOI <https://doi.org/10.1038/nrmicro2415>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20676145/>. Acesso em: 12 jul.2023.

FERREIRA *et al.* Potencial de *Bacillus* spp. em promover o crescimento e controlar *Fusarium verticillioides* em milho. **Summa Phytopathologica**, v.47, n.4, p.195-203, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-5405/241384>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/FF9ZvRPRXwH9NrwMHG3WDvK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 fev.2024

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p.129-166.

GIASSI, V. *et al.* Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. **Microbiol Res**, v. 190, p. 46–54, 2016. DOI 10.1016/j.micres.2015.12.006. Disponível em : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27393998/>. Acesso em: 29 dez.2023.

HARA, F. A. DOS S; OLIVEIRA, L. A. DE. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e alcalinos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 3, p. 343–357, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300002>. Disponível

em:<https://www.scielo.br/j/aa/a/R3dGxkL99Kh9kX7N74FHfCk/?lang=pt#>. Acesso em: 29 dez.2023

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, v.237, p.173-195, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013351617532>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013351617532> Acesso em 28 mar 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. (2022). Disponível em:<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>. Acesso 30 nov.2023.

JORQUERA, M. A. *et al.* Identification of β -propeller phytase-encoding genes in culturable *Paenibacillus* and *Bacillus* spp. from the rhizosphere of pasture plants on volcanic soils. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 75, p. 163-172, 2011. DOI 10.1111/j.1574-6941.2010.00995.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21073489/> .Acesso em: 28 nov. 2023.

VIEIRA JÚNIOR, J. R. *et al.* **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas**. 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1018841> Acesso em: 29 nov.2023.

KANJANASOPA *et al.* Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biological Control Agent in Rice. **Agricultural Sciences**, v.12, n.1, 2021. DOI 10.4236/as.2021.121001. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=106425>. Acesso em: 28 mar 2024.

KITANCHAROEN, N; HATAI, K. Some biochemical characteristics of fungi isolated from salmonid eggs. **Mycoscience**, v.39, n.3, p.249-255, 1998. DOI <https://doi.org/10.1007/BF02464005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1340354098709027?via%3Dihub>. Acesso em: 02 nov.2023.

KREMER, R. J; SOUISSE, T. Cyanide production by rhizobacteria and potential for suppression of wheat seedling growth. **Curr Microbiol**, v.43, p.182-186, 2001. DOI <https://doi.org/10.1007/s002840010284>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002840010284#citeas>. Acesso em: 3 nov.2023.

KUMAR, A. *et al.* Isolation, screening and characterization of bacteria from Rhizospheric soils for different plant growth promotion (PGP) activities: an in vitro study. **Recent Research in Science and Technology**, v. 4, p. 1-5, 2012. Disponível em: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/rrst/article/view/851>. Acesso em: 23 dez. 2023

LARA, L. M. *et al.* Precision agriculture trends in fruit growing from 2016 to 2020. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.43, n.2, e096, 2021. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1131835>. Acesso em 5 nov.2023.

LEELASUPHAKUL, W; HEMMANEE, P; CHUENCHITT, S. Growth inhibitory properties of *Bacillus subtilis* strains and their metabolites against the green mold pathogen (*Penicillium*

digitatum Sacc.) of citrus fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.48, p.113-121,2008. DOI <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521407003043>. Acesso em: 4 nov.2023.

LEONCIO, M. DA. R.; BOTELHO, G. R. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria isolated from garlic (*Allium sativum*). **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.3, p. 95–106, 2017. DOI 10.5380/rsa.v18i3.50630. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/995/99553122011.pdf> .Acesso em: 29 dez.2023.

LUZ, W.C. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas e de bioproteção. In: LUZ, W.C. *et al* (Ed.). **Revisão anual de patologia de plantas (RAPP)** Passo Fundo: PadreBerthier dos Missionários da Sagrada Família, 1996. V.4, p.1-49.

MARIANO, R.L. R; SOUZA, B.E. **Manual de Práticas em Fitopatologia**. 3ed.Recife: Edufpe, 2016.p.161.

MENDES,I.DE. C; REIS JUNIOR,F.B. DOS. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo(P) nos solos: uma análise crítica**. (Documentos / Embrapa Cerrados).Planaltina,p.26,2003.Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568171/1/doc85.pdf>. Acesso em 4 abril 2024.

MENTEN, J. O. M. *et al*. Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. “*in vitro*”. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.1,p. 57-64,1976. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=960f6aa6-473e-4bf8-aed2-79f363e039d9>. Acesso em: 20 Jan. 2024.

MIKANI, A. *et al*. Biological control of apple gray mold caused by *Botrytis mali* with *Pseudomonas fluorescens* strains. **Postharvest Biology and Technology**, v.48, n.1, p.107-112, 2008.DOI <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.020>.Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521407002980?via%3Dihub>. Acesso em: 6 nov.2023.

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 11, p. 1–16, 2017. DOI 10.1007/s11274-017-2364-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28986676/> . Acesso em: 29 dez.2023.

OLIVEIRA, C. A. *et al*. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian cerrado biome. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 1-6, 2009. DOI 10.1016/j.soilbio.2008.01.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071708000679?via%3Dihub>. Acesso em: 29 dez.2023

OLIVER, R. P.; SOLOMON, P. S. New developments in pathogenicity and virulence of necrotrophs. **Current Opinion in Plant Biology**, v.13, p.415-419, 2010.DOI 10.1016/j.pbi.2010.05.003. Disponível em: OLIVER, R. P.; SOLOMON, P. S. New developments in pathogenicity and virulence of necrotrophs. **Current Opinion in Plant Biology**, v.13, p.415-419, 2010. Acesso em: 13 fev.2024

OROZCO-MOSQUEDA, M; DEL, C; GLICK, B. R.; SANTOYO, G. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. **Microbiological Research**, v. 235, n. February, p. 10, 2020. DOI 10.1016/j.micres.2020.126439. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32097862/>. Acesso em: 29 dez. 2023.

PATTEN, C. L; GLICK, B. R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. **Applied and Environmental Microbiology**, v.68, n.8, p.3795–3801, 2002. DOI <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12147474/>. Acesso em: 8 nov.2023.

PAZ, I. C. P. **Bactérias endofíticas de eucalipto e potencial uso no controle de doenças e promoção de crescimento de mudas em viveiros florestais** (Tese de Doutorado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2009.

PADRÓ, M. D. A. *et al.* Effect of *Bacillus subtilis* on antioxidant enzyme activities in tomato grafting. **PeerJ**, v. 9, p. 1–28, 2021. DOI 10.7717/peerj.10984. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33763301/>. Acesso em: 29 dez.2023.

PETRIKOVICS. *et al.* Past, present and future of cyanide antagonism research: From the early remedies to the current therapies. **World J Methodol**, v5, n.2, p.88-100, 2015. DOI 10.5662/wjm.v5.i2.88. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4482825/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

PIETERSE, C. M. *et al.* Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual review of phytopathology** v.52, p.347-375, 2014. DOI 10.1146/annurev-phyto-082712-102340. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>. Acesso em :8 nov.2023.

POOLE, K. Bacterial stress responses as determinants of antimicrobial resistance. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 67, p.2069–89, 2012. DOI 10.1093/jac/dks196. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22618862/>. Acesso em: 29 dez.2023.

POVEDA, J. *et al.* Microorganisms as biocontrol agents against bacterial citrus diseases. **Biological Control**, v.158, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104602>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964421000724>. Acesso em: 9 nov.2023

RADHAKRISHNAN, R. ; HASHEM, A.; Abd Allah, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 293128, 2017. DOI 10.3389/fphys.2017.00667. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932199/>. Acesso em: 26 fev.2024.

RAIS, A. *et al.* *Bacillus* spp. a bio-control agent enhances the activity of antioxidant defense enzymes in rice against *Pyricularia oryzae*. **PLoS ONE**, v.12, n.11, p.0187412. 2017 DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187412>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29161274/>. Acesso em: 29 dez.2023.

REIS, R.M.F. DOS. **Qualidade dos frutos e reação à fusariose de seleções clonais de abacaxi “Turiaçu”**. 2020. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia)–Universidade Estadual do

Maranhão, São Luís, 2020.

REMUSKA, A.C; DALA PRIA ,M. Effect of *Bacillus thuringiensis* on fungal growth Phytopathogenic **Ci. Exatas Terra, Ci. Agr**, v.13,n.3,p.31-36.2007. Disponível em: <https://ri.uepg.br/riuepg/handle/123456789/125>. Acesso em: 13 28 dez.2023.

REINHARDT, D. H; CUNHA, G. A. P. Métodos de propagação. IN: CUNHA, G. A. P.; CABRAL, R. R. S.; SOUZA, L. F. S. (orgs.). **O abacaxizeiro – cultivo, agroindústria e economia**. 1.ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.p.105-138.

RIJAVEC T, LAPANJE A. Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens but regulating phosphate availability. **Front Microbiol** , v.7, 2016.DOI. Acesso em: 22 dez 2023.

RODRÍGUEZ, H; GONZALEZ, T; SELMAN, G. Expression of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola* in two rhizobacterial strains. **Journal of Bio**, v.84, p.155–161, 2000.DOI [https://doi.org/10.1016/s0168-1656\(00\)00347-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1656(00)00347-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165600003473?via%3Dihub>. Acesso em: 9 nov.2023.

SHAHZAD ,R. *et al*. Plant growth-promoting endophytic bacteria versus pathogenic infections: an example of *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. **PeerJ**, v. 5, p.3107. 2017.DOI <https://doi.org/10.7717/peerj.3107>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28321368/>. Acesso em: 12 fer.2024

SARWAR, M; KREMER, R. J. Enhanced suppression of plant growth through production of L-tryptophan-derived compounds by deleterious rhizobacteria. **Plant and Soil**, v.172,p. 261-269,1995.DOI <https://doi.org/10.1007/BF00011328>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00011328#citeas>. Acesso em: 9 nov.2023.

SENDI, Y. *et al*. Potential of the bean root microbiome (*Phaseolus vulgaris* L.) in the biocontrol of root rot and performance characteristics. **J Plant Dis Protec**, v.127,p.453–462,2020. DOI 10.1007/s41348-020-00338-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41348-020-00338-6>. Acesso em : 28 dez. 2023.

SRINIVASAN, S; AVADHANI, N. G. Cytochrome c oxidase dysfunction in oxidative stress. **Free Radical Biology and medicine**, v.53, p.1252–1261, 2012.DOI <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.07.021>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3436951/>. Acesso em: 9 nov.2023.

STEPANOVIĆ, S. *et al*.. Quantification of biofilm in microtiter plates: overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by staphylococci. **Acta Pathologica, Microbiologica et Immunologica Scandinavica**, v.11, n.58, p.891-899,2007.DOI https://doi.org/10.1111/j.1600-0463.2007.apm_630.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17696944/>. Acesso em: 9 nov.2023.

SILVA FILHO, G. N; VIDOR, C.Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p. 311–319,2000. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xqJhYNHYDmk5frXzGB9KMWw/?lang=pt>. Acesso em: 10

nov.2023

SILVA, W. C. Sistema de produção para a cultura do abacaxi no Estado de Rondônia. Embrapa Rondônia-Sistema de Produção (INFOTECA-E),2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/699007>. Acesso em: 10 nov.2023.

SILVA, J. R. C. *et al.* Bactérias endofíticas no controle e inibição in vitro de *Pseudomonas syringae* pv. tomato, agente da pinta bacteriana do tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.4, p.1062-1072,2008.DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/kdQb6HKQjVVJdTG6wGCfbKg/?format=pdf>. Acesso em: 10 nov.2023.

SINGH, S., SINGH, V.; PAL, K. Importance of microorganisms in agriculture. *Climate and Environmental changes: Impact, Challenges and Solutions*,v. 1, p.93-117,2017. Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/322926367_IMPORTANCE_OF_MICRO_ORGANISMS_IN_AGRICULTURE. Acesso em: 26 abr.2024.

SOLANKI, M; KUNDU, B. S; NEHRA, K. Molecular diversity of phosphate solubilizing bacteria isolated from the rhizosphere of chickpea, mustard and wheat. **Annals of Agrarian Science**, v. 16, n. 4, p. 458–463, 2018.DOI <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.05.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188717300428>.Acesso em: 29 dez.2023.

SOUZA, F. V. D. *et al.* Abacaxizeiros (*Ananas* spp.) cultivados e silvestres. **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)**,2017. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/182432/1/7ddc230c2f7a-Abacaxi-03a.pdf>. Acesso 10 nov.2023

WEI, G. *et al.* Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by selected strains of plant growth-promoting rhizobacteria. **Phytopathology , Saint Paul** ,v.81,n.12,p.1508-1512,1991. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1991Articles/Phyto81n12_1508.PDF. Acesso em: 29 dez.2023.

WEBB, J. S; GIVSKOV, M.; KJELLEBERG, S. Bacterial biofilms: prokaryotic adventures in multicellularity. **Curr Opin Microbiol**, v.6, n.6, p.578-85, 2003. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mib.2003.10.014>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14662353/>. Acesso em: 29 dez.2023.

VERMA, S.C. *et al.* Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice. **J Biotechnol**,v.91,n.2-2,p.127-41,2001. DOI [10.1016/s0168-1656\(01\)00333-9](https://doi.org/10.1016/s0168-1656(01)00333-9). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11566385/>. Acesso em: 29 dez. 2023.

VIEIRA JÚNIOR, J. R. *et al.* **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas.** 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1018841> Acesso em: 29 nov.2023

WYDRA, K *et al.* A diagnostic medium for the semi-selective isolation and enumeration of *Xanthomonas axonopodis* pv. *vignicola*. **European Journal of Plant Pathology**, v.110, n.10, p. 991-1001, 2004.DOI <https://doi.org/10.1007/s10658-004-0812-5>.Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-004-0812-5>. Acesso em: 12 nov.2023.

ZHAO, S. *et al.* Development of a variable number of tandem repeats typing scheme for the bacterial rice pathogen *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzicola*. **Phytopathology**, v.102, p.948- 956, 2012. DOI 10.1094/PHYTO-04-12-0078-R. Disponível em:

<https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-04-12-0078-R>. Acesso em: 12 nov.2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo da caracterização dos mecanismos de ação dos isolados de *Bacillus* spp. os resultados indicam o potencial destes isolados na produção de ácido indolacético-AIA, ácido cianídrico -HCN, enzima catalase, solubilização de fosfato inorgânico e formação de biofilme.

Nos testes *in vitro* e *in vivo* para avaliar o potencial antagônico sobre *Fusarium guttiforme* em mudas de abacaxi nas cultivares Pérola e Turipaz pode-se observar o efeito antagonista por estes isolados de *Bacillus* spp. Desta forma o presente estudo mostra o quanto faz-se necessário darmos continuidade nas pesquisas com estes microrganismos, partindo para dentro dos cultivos agrários, como alternativa no intuito de substituir, pelo menos parcialmente os produtos químicos.

ANEXOS



NORMAS DA REVISTA BIOCONTROL SCIENCE AND BIOTECNOLOGIA

Biocontrol Science and Technology é um periódico internacional revisado por pares que publica pesquisas originais de alta qualidade. A revista publica apenas manuscritos em inglês.

- **Sobre o Diário**

A Biocontrol Science and Technology aceita os seguintes tipos de artigos: Artigo de Pesquisa, Artigos de revisão, Comunicação Curta, Revisão do livro, Carta para o editor.

- **Política de acesso aberto** - Há opção de publicar em acesso aberto nesta revista através do programa de publicação Open Select. Publicar em acesso aberto significa que o artigo terá acesso on-line gratuito imediatamente após a publicação, aumentando a visibilidade, o número de leitores e o impacto da pesquisa. Artigos publicados Open Select com Taylor & Francis normalmente recebem 45% mais citações* e mais de 6 vezes mais downloads** em comparação com aqueles que não são publicados Open Select.

- **Preparo do artigo de Pesquisa**

- Deve ser redigido com os seguintes elementos na seguinte ordem: página de rosto, abstrato, palavras-chave., agradecimentos, declaração de declaração de interesse, referências; apêndices (conforme apropriado), tabela(s) com legenda(s) (em páginas individuais), figuras; legendas de figuras (como uma lista);

- Deverá conter um resumo não estruturado de 250 palavras;

- Deve conter entre 3 e 6 palavras-chave;

- Contagem de palavras para o artigo e certificar de que os números das linhas estejam presentes no arquivo.

- **Envio sem formato**

- Os manuscritos podem ser fornecidos como arquivos únicos ou múltiplos. Podem ser arquivos Word, formato rich text (rtf), formato de documento aberto (odt), PDF ou LaTeX. Figuras e tabelas podem ser inseridas no texto ou apresentadas como documentos separados. As figuras devem ter resolução suficiente para permitir a arbitragem. Será solicitado a pagar uma taxa de publicação de artigo (APC) para tornar o artigo de acesso aberto e esse custo muitas vezes pode ser coberto pela instituição ou financiador;

- Não há requisitos rígidos de formatação, mas todos os manuscritos devem conter os elementos essenciais necessários para avaliar um manuscrito: resumo, afiliação do autor, figuras, tabelas, informações do financiador, referências. Mais detalhes poderão ser solicitados

após a aceitação;

- As referências podem estar em qualquer estilo ou formato, desde que seja aplicado um formato de citação acadêmica consistente. Para manuscritos submetidos em formato LaTeX deverá ser incluído um arquivo de referência .bib. Nome(s) do(s) autor(es), título do periódico ou livro, título do artigo ou capítulo, ano de publicação, volume e número (quando apropriado) e números de páginas são essenciais. Todas as entradas bibliográficas devem conter uma citação correspondente no texto. A adição de números DOI (Digital Object Identifier) é recomendada, mas não essencial;

- O estilo de referência do periódico será aplicado ao artigo pós-aceitação por Taylor & Francis;

- A ortografia pode ser inglês dos EUA ou do Reino Unido, desde que o uso seja consistente.

- **Lista de verificação: inclui**

- Detalhes do autor. Certificar que todos os autores listados atendam aos critérios de autoria da Taylor & Francis. Todos os autores de um manuscrito devem incluir seu nome completo e afiliação na capa do manuscrito. Quando disponível, inclua também ORCID e identificadores de mídia social (Facebook, Twitter ou LinkedIn). Um autor deverá ser identificado como autor correspondente, com seu endereço de e-mail normalmente exibido no PDF do artigo (dependendo da revista) e no artigo online. As afiliações dos autores são as afiliações onde a pesquisa foi realizada. Se algum dos coautores nomeados mudar de afiliação durante o processo de revisão por pares, a nova afiliação poderá ser fornecida como nota de rodapé. Nenhuma alteração na afiliação poderá ser feita após o artigo ser aceito;

- Resumo gráfico (opcional). Esta é uma imagem para dar aos leitores uma ideia clara do conteúdo do seu artigo. Deve ter uma largura máxima de 525 pixels. Se a sua imagem for mais estreita que 525 pixels, coloque-a sobre um fundo branco com 525 pixels de largura para garantir que as dimensões sejam mantidas. Salve o resumo gráfico como .jpg, .png ou .tiff. Por favor, não o incorpore no arquivo do manuscrito, mas salve-o como um arquivo separado, denominado GraphicalAbstract1;

- Pode optar por incluir um resumo em vídeo em seu artigo. Isso pode ajudar o trabalho a alcançar um público mais amplo e o que pensar ao filmar;

- Detalhes de financiamento. Fornecer todos os detalhes exigidos pelos seus órgãos financiadores e concedentes da seguinte forma: Para subsídios de agência única. Este trabalho

foi apoiado pela [Agência Financiadora] sob o subsídio [número xxxx];

- Para doações de múltiplas agências - Este trabalho foi apoiado pela [Agência de Financiamento nº 1] sob a doação [número xxxx]; [Agência de Financiamento nº 2] sob Subvenção [número xxxx]; e [Agência de Financiamento nº 3] sob Subvenção [número xxxx];

- Declaração de divulgação: Isto é para reconhecer qualquer interesse financeiro ou não financeiro que tenha surgido das aplicações diretas de sua pesquisa. Se não houver interesses conflitantes relevantes a declarar, indique isso no artigo, por exemplo: Os autores relatam que não há interesses conflitantes a declarar. Orientações adicionais sobre o que é um conflito de interesses e como divulgá-lo ;

- Declaração de disponibilidade de dados. Se houver um conjunto de dados associado ao artigo, fornecer informações sobre onde podem ser encontrados os dados que apoiam os resultados ou análises apresentados no artigo. Quando aplicável, isto deve incluir o hiperlink, DOI ou outro identificador persistente associado ao(s) conjunto(s) de dados. Modelos também estão disponíveis para apoiar os autores;

- Deposição de dados. Se optar por compartilhar ou tornar abertos os dados subjacentes ao estudo, depositar os dados em um repositório de dados reconhecido antes ou no momento da submissão. Será solicitado a fornecer o DOI, o DOI pré-reservado ou outro identificador persistente do conjunto de dados;

- Informações de geolocalização. Enviar uma seção de informações de geolocalização, como um parágrafo separado antes de seus agradecimentos, significa que podemos indexar com precisão a área de estudo do artigo no banco de dados de literatura geográfica do JournalMap e tornar o artigo mais detectável por outras pessoas. Mais Informações;

- Material complementar on-line. O material suplementar pode ser um vídeo, conjunto de dados, conjunto de arquivos, arquivo de som ou qualquer coisa que suporte (e seja pertinente ao) artigo. Publicação de material suplementar online via Figshare;

- Figuras. As figuras devem ser de alta qualidade (1200 dpi para arte linear, 600 dpi para escala de cinza e 300 dpi para cores, no tamanho correto). As figuras devem ser fornecidas em um de nossos formatos de arquivo preferidos: arquivos EPS, PS, JPEG, TIFF ou Microsoft Word (DOC ou DOCX) são aceitáveis para figuras desenhadas em Word. Para informações relacionadas a outros tipos de arquivo, consulte nosso documento de Envio de arte eletrônica .11. Tabelas. As tabelas devem apresentar novas informações em vez de duplicar o

que está no texto. Os leitores devem ser capazes de interpretar a tabela sem referência ao texto. Forneça arquivos editáveis;

- Equações. Se estiver enviando o manuscrito como um documento Word, certificar de que as equações sejam editáveis;

- Unidades. Use unidades SI (sem itálico). Usando material de terceiros no artigo, deve obter a permissão necessária para reutilizar material de terceiros no artigo. O uso de pequenos trechos de texto e alguns outros tipos de material é geralmente permitido, de forma limitada, para fins de crítica e revisão, sem obter permissão formal. Se desejar incluir no artigo qualquer material sobre o qual não detém direitos autorais e que não esteja coberto por este acordo informal, precisará obter permissão por escrito do proprietário dos direitos autorais antes de submetê-lo.

- **Enviando o artigo**

Esta revista utiliza o Portal de Submissões da Taylor & Francis para gerenciar o processo de submissão. O Portal de Submissões permite que você veja suas submissões no portfólio de periódicos da Taylor & Francis em um só lugar.

A Biocontrol Science and Technology usa Crossref™ para selecionar papéis em busca de material não original. Ao enviar o artigo para a Biocontrol Science and Technology os autores devem concordar com as verificações de originalidade durante os processos de revisão por pares e produção.

- **Após a aceitação, recomenda-se guarde uma cópia do Manuscrito Aceito. Política de Compartilhamento de Dados**

- Esta revista aplica a Política Básica de Compartilhamento de Dados da Taylor & Francis. Os autores são incentivados a compartilhar ou tornar abertos os dados que apoiam os resultados ou análises apresentados em seu artigo, sempre que isso não viole a proteção de seres humanos ou outras preocupações válidas de privacidade ou segurança;

- Os autores são incentivados a depositar o(s) conjunto(s) de dados em um repositório de dados reconhecido que possa cunhar um identificador digital persistente, de preferência um identificador de objeto digital (DOI) e que reconheça um plano de preservação de longo prazo. Se não tiver certeza sobre onde depositar seus dados, consulte esta informação sobre repositórios;

- Os autores são ainda encorajados a citar quaisquer conjuntos de dados referenciados no artigo e fornecer uma Declaração de Disponibilidade de Dados;

- No momento da submissão, será questionado se existe um conjunto de dados associado ao artigo. Se responder sim, será solicitado a fornecer o DOI, o DOI pré-registrado, o hiperlink ou outro identificador persistente associado ao(s) conjunto(s) de dados. Se optou por

fornecer um DOI pré-registrado, esteja preparado para compartilhar a URL do revisor associada ao depósito de dados, mediante solicitação dos revisores;

○ Quando um ou vários conjuntos de dados estão associados a um manuscrito, estes não são formalmente revisados por pares como parte do processo de submissão ao periódico. É responsabilidade do autor garantir a solidez dos dados. Quaisquer erros nos dados são exclusivamente dos produtores do(s) conjunto(s) de dados.

- **Taxas de publicação**

Não há taxas de submissão, taxas de publicação ou cobrança de página para esta revista. As figuras coloridas serão reproduzidas em cores no artigo online gratuitamente. Caso seja necessário que as figuras sejam reproduzidas em cores na versão impressa, será cobrada uma taxa. As taxas para figuras coloridas impressas são de £ 300 por figura (\$ 400 dólares americanos; \$ 500 dólares australianos; € 350). Para mais de 4 figuras coloridas, as figuras 5 e superiores serão cobradas £ 50 por figura (\$ 75 dólares americanos; \$ 100 dólares australianos; € 65). Dependendo da localização, essas cobranças podem estar sujeitas a impostos locais.

- **Opções de direitos autorais**

Os direitos autorais permitem que os autores protejam o material original e impeçam que outras pessoas usem o trabalho sem permissão. Taylor & Francis oferece diversas opções de licença e reutilização, incluindo licenças Creative Commons ao publicar em acesso aberto.

- **Conformidade com Agências de Financiamento**

São depositados todos os artigos financiados pelo National Institutes of Health ou Wellcome Trust no PubMedCentral em nome dos autores, atendendo aos requisitos de respectivas políticas de acesso aberto. Se isso se aplica ao autores, informar a equipe de produção quando receber as provas dos artigos, para que possam fazer isso pelos autores. Verificar os mandatos da política de acesso aberto dos financiadores.